













PRODROME DE GÉOLOGIE.

PRODROME DE GÉOLOGIE.

Besançon. — Imprimerie de J. Roblot.

PRODROME

DE

GÉOLOGIE

PAR

ALEXANDRE VÉZIAN

DOCTEUR ÈS-SCIENCES

PROFESSEUR DE GÉOLOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON

MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

ETC.

« Comme les bourgeons, en se développant, donnent
» naissance à de nouveaux bourgeons, et comme ceux
» ci, lorsqu'ils sont vigoureux, végètent avec force et
» dépassent de tous côtés beaucoup de branches plus fai-
» bles, ainsi, par une suite de générations non inter-
» rompues, il en a été, je crois, du *grand arbre de la*
» *vie* qui remplit les couches de la terre des débris de
» ses branches mortes et rompues, et qui en couvre la
» surface de ses ramifications toujours nouvelles et tou-
» jours brillantes. » DARWIN.

TOME TROISIÈME

PARIS

F. SAVY, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

24, RUE HAUTEFEUILLE, 24.

1865

LIVRE DIXIÈME.

INTERVENTION DE LA VIE

DANS LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES. — FOSSILISATION.

CHAPITRE I.

DES FOSSILES ET DE LA FOSSILISATION EN GÉNÉRAL.

Les êtres organisés sont répandus à profusion à la surface du globe; conséquences pour la géologie. — Nombreuses relations entre la géologie et l'étude des êtres organisés. — Définition du mot fossile employé comme substantif. — Fossilisation. — Divers résultats de la fossilisation. — Substances minérales fossilisantes. — Fossilisation des végétaux; fossilisation par pénétration mécanique, par carbonisation, par pétrification. — Expériences de M. Gœppert. — Dendrites; ludus; septaria; stylolites; orbicules siliceux.

Les êtres organisés sont répandus à profusion à la surface du globe; conséquences pour la géologie. — La terre et toutes les planètes semblent avoir pour mission de porter la vie avec elles; pourtant, ce n'est qu'à leur surface que la vie se manifeste. Les phénomènes d'ordre organique se trouvent limités dans une zone étroite, entourant le globe tout entier et disparaissant à

peine dans le voisinage des pôles. Mais, dans cette *zone vitale* (voir tome I, page 210), la vie se développe avec une grande énergie; les êtres organisés s'y montrent partout à profusion et apparaissent sur les points où l'on s'attendrait le moins à les rencontrer. « Lorsque, » dit Humboldt, « l'homme interroge la nature avec sa curiosité pénétrante, ou mesure dans son imagination les vastes espaces de la création organique, de toutes les émotions qu'il éprouve, la plus puissante et la plus profonde est le sentiment que lui inspire la plénitude de la vie universellement répandue. Partout et jusqu'auprès des pôles glacés, l'air retentit du chant des oiseaux et du bourdonnement des insectes. »

Afin de mettre en évidence l'universalité des forces vitales, je vais citer quelques exemples de plantes et d'animaux vivant et se reproduisant dans des milieux qui semblent impropres au développement de l'organisme.

Les tissus les plus cachés des animaux servent fréquemment de demeure à des parasites dont on ne saurait s'expliquer le mode de transmission d'un individu à l'autre sans supposer à leurs œufs des conditions spéciales de vitalité. Les circonstances dans lesquelles ces parasites ont été primitivement créés sont aussi difficiles à comprendre que celles qui ont amené l'introduction du *Proteus anguinus* dans les cavernes de la Carniole et du *Siredon* dans les grottes de Mammouth, au Kentucky (voir tome II, page 643).

J'ai dit, en adoptant l'opinion émise par Ed. Forbes, que les animaux et les plantes disparaissent à une profondeur de 500 mètres. Cette assertion n'est pas rigoureusement exacte; au delà la vie persiste, mais n'est plus représentée que par des animaux d'une organisation excessivement simple et d'un volume si faible qu'on ne peut ordinairement les étudier qu'au

microscope. Mais ils compensent leur petitesse par leur nombre prodigieux, et, jusqu'à une profondeur de 5000 mètres, ils composent en majeure partie la vase qui recouvre le sol sous marin. Non seulement les animaux microscopiques auxquels je viens de faire allusion pullulent dans les régions profondes de l'océan où règne une éternelle nuit, mais ils peuplent aussi les cavités qui existent dans la masse des volcans; leurs débris rejetés pendant les éruptions sont entraînés à des distances plus ou moins grandes à l'état de cendres volcaniques.

Des crustacés du genre *Branchipe* abondent dans les marais salants où l'alcalinité des eaux ne leur est pas défavorable, tant que ces eaux n'atteignent pas un degré trop élevé de concentration. C'est à la présence de ces crustacés que l'on avait d'abord attribué la coloration rouge des eaux des salines, lorsqu'elles sont sur le point de cristalliser; mais M. Joly a reconnu que cette coloration provient d'un nombre immense de monades. Un autre petit crustacé, du genre *Artemia*, habite en Egypte divers lacs dont le fond est couvert de cristaux de natron et de sulfate de soude mélangé de chlorure de sodium; quant aux eaux où nage ce crustacé, elles contiennent en dissolution du carbonate de soude, du sulfate de soude et du sel magnésien; leur densité est de 1,255. Ces eaux, qui sont colorées en rouge, ne renferment ni poisson, ni mollusque, ni aucun autre animal que ce crustacé. Leur température monte en été jusqu'à 60°.

La *barégine* est une substance organique ainsi nommée parce qu'on l'a observée pour la première fois dans l'eau sulfureuse de Barèges; depuis on l'a retrouvée dans un grand nombre d'autres sources thermales. La barégine, prise au fond des réservoirs, est une substance amorphe, d'un aspect

gélatineux ; elle résulte de la désagrégation ou de la décomposition des organismes inférieurs qui vivent dans les eaux thermales. La plupart de ces organismes apparaissent sous la forme de globules très petits, incolores, transparents, qui deviennent ensuite de longs filaments et acquièrent une couleur verte. Des êtres organisés d'un ordre plus élevé vivent dans des eaux très chaudes. « Ainsi, l'*Ulva labyrinthiformis*, Linn. (*U. thermalis*) vit dans les ruisseaux d'Albano à une température de 85°. Des gazons de *Marchantia* et de *Lycopodium*, dans l'île d'Amsterdam, végètent dans des eaux à 85°. A Manille, un *Aspalathus* (légumineuse) et un *Vitex* (gattilier) plongent leurs racines dans des eaux aussi chaudes. Ce sont en général des mousses, des graminées et des plantes stolonifères qui se plaisent dans ces conditions, où elles vivent d'ailleurs mieux qu'elles ne se reproduisent. Parmi les animaux, les mollusques vivent et se propagent dans les eaux douces et salées à 45° et même à 60°. Le *Gammarus locusta*, petite crevette d'eau douce, vit dans les ruisseaux d'Albano avec les ulves que nous avons citées. Certains insectes vivent dans les eaux thermales d'Aix à 40° et 45°; des coléoptères et des *Hydrobius* dans les eaux chaudes de Bade (Argovie), des paludines dans celles à 44° des monts Euganéens, la *Limnæa peregra*, le *Melanopsis buccinoides*, l'*Helicina Prevostina* dans celles de Voeslau (Autriche) à 21°. En Algérie, on cite de petits crustacés du genre *Cypris*, des écrevisses et des conferves dans des ruisseaux où l'on ne peut tenir la main, et, à peu de distance au dessous, des poissons du genre barbeau et des crapauds là où la température est encore fort élevée. » (D'Archiac, *Paléontologie stratigraphique*.)

Le *Protococcus nivalis*, que l'on voit quelquefois teindre en rouge les galets calcaires ramassés sur les bords de la mer au

Havre, ou qui forme des taches pulvérulentes couleur de sang sur les marbres statuaires de la carrière de Serraveza (Toscane), donne à la neige des pôles et des hautes montagnes la teinte rouge qu'elle possède quelquefois. Comme exemple d'être organisé pouvant vivre sous une basse température et dans des conditions exceptionnelles, je citerai le *Desoria glacialis*, petit insecte sauteur, long de deux millimètres environ, qui vit sous les pierres des glaciers des Alpes et circule avec agilité dans la glace en apparence la plus compacte [1].

Nombreuses relations entre la géologie et l'étude des êtres organisés. — C'est aussi à la surface du globe que se manifestent et s'observent la plupart des phénomènes géologiques. Il ne faut donc pas s'étonner si la science des êtres organisés et celle de l'écorce terrestre offrent, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, de nombreux points de contact. En donnant pour base à ses recherches l'examen des débris de corps organisés enfouis dans les strates sédimentaires, le géologue peut : 1° indiquer dans quelles conditions une strate ou un ensemble de strates se sont déposés; 2° expliquer l'origine de certaines roches qui se sont formées, en totalité ou en partie, par le concours de l'organisme; 3° signaler les changements que la configuration du sol, les climats, les faunes et les flores ont subis pendant les siècles passés; 4° donner la caractéristique de chaque terrain et trouver la place qu'il occupe dans l'échelle géologique. En énumérant ces principales applications de la science des êtres organisés à la géologie, j'ai esquissé le plan que je compte

(1) J'ai placé, à la fin de ce volume, un appendice phytologique et zoologique destiné aux personnes peu au courant des termes employés en histoire naturelle; ce tableau leur facilitera l'intelligence de ce qui sera dit dans ce dixième livre et les suivants.

suivre; j'ai indiqué, en même temps, les questions les plus importantes que je devrai traiter avant de compléter cet ouvrage par la classification des terrains.

En parlant de l'intervention de la vie dans l'édification de la croûte du globe, j'aurai l'occasion de montrer comment les mousses, croissant sans cesse par leur sommet et laissant au dessous d'elles la partie de leur tige qui a cessé de vivre, se transforment en tourbe; les polypiers construisent de la même manière les récifs de coraux. Il en résulte que, dans une masse tourbeuse ou corallienne, on peut distinguer deux zones superposées: l'une, supérieure, qui végète et vit encore, l'autre, sous jacente, chez laquelle toute action vitale est éteinte et qui appartient désormais à l'écorce terrestre. Ce qui s'observe dans la structure des tourbières et des récifs de coraux est, sur une petite échelle, l'image de ce qui se passe au fond des mers; là tous les détritus entraînés des continents voisins et les parties solides des animaux actuellement vivants sont en voie de constituer une seule masse destinée à servir de substratum aux roches qui se formeront par la suite et de support aux générations des temps à venir. Au dessus, ce qui est; au dessous, ce qui a été. C'est cette succession de phénomènes que Darwin avait en vue lorsqu'il a dit en termes éloquents : « Comme les bourgeons, en se développant, donnent naissance à de nouveaux bourgeons, et comme ceux ci, lorsqu'ils sont vigoureux, végètent avec force et dépassent de tous côtés beaucoup de branches plus faibles, ainsi, par une suite de générations non interrompues, il en a été, je crois, du *grand arbre de la vie* qui remplit les couches de la terre des débris de ses branches mortes et rompues, et qui en couvre la surface de ses ramifications toujours nouvelles et toujours brillantes. »

Définition du mot fossile employé comme substantif. — Pline et les anciens désignaient sous le nom de *fossiles, fossilia,* tous les corps qui existent dans la terre. Le mot de fossile a conservé cette signification jusque vers les premières années du siècle dernier (1). Alors on a commencé à distinguer les *fossilia nativa* ou *mineralia*, c'est-à dire les minéraux, des *fossilia heteromorpha, extranea, petrefacta, larvata,* c'est à dire des corps ayant appartenu à des plantes ou à des animaux. Le mot de fossile est maintenant réservé aux *fossilia petrefacta;* on appelle *fossile,* non seulement *tout corps organisé ou tout vestige de corps organisé enfoui dans la terre,* mais aussi *toute trace ou tout témoignage, quelque effacés qu'ils soient, qu'un corps organisé a laissés de son ancienne existence.* Ainsi les empreintes de pas d'un quadrupède sont des fossiles au même titre qu'une partie de son squelette. Mais hâtons-nous d'ajouter qu'un corps organisé, pour être considéré comme fossile, doit être enfoui dans le sol depuis un temps dont la durée est diversement appréciée par les géologues, désaccord qui offre peu d'inconvénients. Les uns refusent la désignation de fossiles aux corps organisés dont l'enfouissement n'est pas antérieur à la période quaternaire; pour d'autres, et c'est leur manière de voir que nous adoptons, il suffit que l'enfouissement ait précédé les temps historiques. La définition du mot fossile est d'ailleurs indépendante soit du gisement du corps auquel il s'applique, soit de son état de transformation plus ou moins complète.

(1) Les minéraux et les débris de corps organisés étant jadis confondus sous la même désignation de *fossiles*, leur étude devait faire l'objet d'une seule et même science : cette science était l'*oryctologie* (ὀρυκτος, fossile; λογος, discours). De cette science sont nées, comme deux branches d'un même tronc, la *minéralogie* et la *paléontologie*.

Fossilisation. — On appelle *fossilisation* l'acte par lequel tout ou partie d'un être organisé est, après sa mort, enfoui dans le sol ou dans les strates en voie de dépôt, puis modifié sous le rapport de sa composition, et quelquefois de sa forme, de manière à se conserver pendant un temps indéfini.

Dès qu'un animal, ayant vécu dans l'océan, cesse d'exister, ses parties molles et charnues se décomposent, et ses éléments, ramenés à l'état gazeux, disparaissent dans l'eau. Il en est de même pour les animaux terrestres que les courants fluviatiles ou des circonstances accidentelles entraînent dans les lacs et dans la mer. Leurs parties dures persistent, restent seules soumises à la fossilisation et subissent plus ou moins les transformations qui vont être indiquées.

Les parties dures qui doivent passer à l'état fossile obéissent d'abord à la pesanteur et vont se fixer au fond de l'eau. Là elles sont bientôt entourées par la vase, le sable, le calcaire, qui, en se déposant sur le sol immergé, doivent fournir aux strates en voie de se constituer leurs matériaux. En d'autres termes, le phénomène de la sédimentation et celui de la fossilisation se développent sur le même point et pendant le même moment. La vase, le sable et le calcaire entourent le fossile; ils lui forment un *moule extérieur* ou, selon l'expression employée par quelques paléontologistes, une *empreinte*. Tantôt le fossile et son moule extérieur restent assez indépendants pour qu'on puisse les séparer avec facilité; tantôt il s'établit entre eux une adhérence telle que les lignes de fractures produites par un coup de marteau se prolongent sans déviation à travers le fossile et sa guangue. Il faut souvent beaucoup de patience et l'emploi de divers procédés que l'usage fait connaître pour dégager entièrement un fossile de la masse dans laquelle il est enchassé.

En même temps que la vase, le sable, le calcaire entourent le fossile, ils remplissent les vides que ses parties molles et charnues ont laissés en se décomposant, et les cavités, telles que les loges des ammonites, existant dans l'intérieur de sa masse.

Lorsque ces actions toutes mécaniques se sont accomplies, les phénomènes chimiques commencent à se manifester. Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer (tome I, page 502), la matière inorganique n'est jamais à l'état de repos. A peine une roche sédimentaire est-elle constituée, que des déplacements moléculaires se produisent dans toute son étendue. Ces déplacements modifient la texture et la composition minéralogique des fossiles; ils persistent tant qu'un certain équilibre n'est pas établi. Le premier résultat de ces transformations est la disparition de la matière organique. La matière inorganique elle même ne reste pas en place : elle est en quelque sorte absorbée par la masse qui l'entoure et qui fournit au fossile, comme par suite d'un échange, la substance dont il se composera lorsque sa transformation sera complète.

Bien peu de fossiles possèdent encore une partie de la substance organique ou inorganique dont ils étaient formés avant leur enfouissement. Il suffit, pour admettre ce fait, de comparer, sous le rapport de leur composition, les ossements et les coquilles à l'état vivant et à l'état fossile. Parmi les cas d'une conservation plus ou moins complète de la matière primitive, je citerai : les calmars du lias de Lime Regis, en Angleterre, dont les poches à encre renferment encore une matière noire susceptible d'être employée pour le lavis; les coprolites exploités pour l'amendement des terres à cause du phosphate de chaux qu'ils ont conservé; les défenses d'éléphant fossiles qui possèdent souvent la même composition chimique que celles de l'éléphant vivant et dont on se sert

également pour la fabrication des objets en ivoire. On à découvert en Sibérie, envoloppés dans la glace, les corps entiers de mammouths et de rhinocéros, c'est à dire d'animaux de races éteintes, avec leur peau, les poils qui recouvrent cette peau, et leur chair qui était encore assez bien conservée pour que les chiens aient pu, dit-on, s'en nourrir; leurs conditions de fossilisation, il est vrai, étaient exceptionnelles, puisque ces débris se trouvaient enfouis dans la glace.

Autres résultats de la fossilisation; changements de texture, de forme, de coloration, etc. — Quelquefois, par suite de circonstances particulières, la substance dont le fossile se composait disparaît sans être remplacée; il en résulte un vide limité par un moule extérieur quelquefois doublé, comme dans les gastéropodes, d'un moule intérieur. Ce vide, ainsi que les cavités, telles que les loges des ammonites, préexistant à l'enfouissement du fossile, deviennent le siége de phénomènes semblables à ceux qui ont pour résultat la formation des géodes. Il se produit une sorte de sécrétion, et les molécules venues du dehors se disposent en cristaux; ceux ci dirigent leur extrémité vers l'intérieur de ces cavités géodiques et en tapissent les parois (voir tome I, page 505).

Les molécules, qui, après une sorte d'infiltration, viennent occuper la place de celles dont le fossile se composait en premier lieu, se disposent quelquefois de manière à conserver la trame des tissus préexistants ; ce fait se produit assez fréquemment parmi les végétaux, mais s'observe très rarement dans les fossiles appartenant au règne animal.

Certaines coquilles se montrent à l'état vivant formées de parties distinctes par leur texture; cette différence dans les tissus persiste ordinairement lorsque ces coquilles passent à

l'état fossile. Le test des pinnes, des avicules, des pernes, etc., se compose de deux couches : l'intérieure est lamelleuse et nacrée dans une grande partie de son étendue, tandis que l'extérieure est constituée par des fibres perpendiculaires à la nacre; en se fossilisant, ces coquilles se décomposent de manière à se réduire tantôt aux lames internes souvent désagrégées, tantôt à la partie fibreuse. Dans le test des spondyles, il y a également deux couches superposées; l'interne est blanche et fort épaisse vers le talon, tandis que l'externe, ordinairement colorée, revêt toute la coquille. Quelquefois la couche interne a disparu, et la coquille est réduite à sa couche externe; les coquilles, ainsi réduites à leur test extérieur, avaient à tort donné lieu à l'établissement des trois genres *Podopsis*, *Dianchora* et *Pachytes*. Une semblable méprise avait conduit Lamarck à établir le genre *Birostrites* sur des moules intérieurs de rudistes. Comme exemple de la persistance des caractères primitifs des coquilles, je citerai encore les huîtres qui, à l'état fossile, conservent leur texture feuilletée.

La texture des fossiles est quelquefois en relation avec l'organisation de l'animal dont ils proviennent. C'est ainsi que les bélemnites, lorsqu'on les casse, montrent toujours une texture fibreuse et rayonnée. Mais l'exemple le plus remarquable du fait que nous avons en vue est fourni par les échinodermes. Dans tous les débris fossiles appartenant à cette classe, la partie calcaire offre une texture spathique; leur cassure accuse toujours les plans de clivage de la chaux carbonatée rhomboédrique. A l'état vivant, les parties dures des échinodermes possèdent une texture poreuse, assez semblable à celle de la moelle de sureau très comprimée. Le caractère qui vient d'être signalé donne un moyen certain de distinguer les échi-

nodermes ou leurs débris des autres fossiles qui pourraient leur ressembler plus ou moins par la forme.

La matière colorante des coquilles est ordinairement détruite par les acides les plus faibles ; aussi, un des premiers effets de la fossilisation est-il de leur enlever leur couleur. Pourtant certaines coquilles, même dans les terrains les plus anciens, ont conservé tout ou partie de leur coloration primitive. On cite, comme étant dans ce cas, la *Natica subcostata* du terrain dévonien de Paffrath (Prusse), le *Pecten alpinus* du terrain néocomien des Basses Alpes, l'*Ostrea columba* de l'étage turonien du même pays, la *Natica millepunctata,* le *Melanopsis Dufourii*, le *Cerithium pictum* et des *Cyprea*, du terrain tertiaire. L'éclat de la nacre, chez les coquilles qui en étaient pourvues, s'est aussi quelquefois maintenu, notamment dans les fossiles du terrain oxfordien de Russie, du gault de Folkstone (Angleterre), de Wisant (Pas de Calais), de Machéromenil (Ardennes), etc., sur quelques coquilles de l'étage cénomanien de Rouen et sur un grand nombre de fossiles du terrain tertiaire.

Enfin, un des résultats assez fréquents de l'enfouissement des débris de corps organisés est leur aplatissement et leur déformation plus ou moins complète par suite de la pression qui s'exerce sur eux.

Substances fossilisantes. — Les fossiles sont ordinairement de la même nature que la roche qui les renferme. Pourtant, dans un assez grand nombre de cas, ils en diffèrent soit par leur aspect, soit par leur composition. C'est ainsi que des fossiles siliceux existent dans des roches calcaires et des fossiles calcaires dans des roches siliceuses ; c'est encore ainsi que les débris d'échinodermes se détachent, par leur couleur claire et

leur texture spathique, sur le fond plus ou moins sombre et plus ou moins terreux de la roche.

La différence que l'on constate entre la composition du fossile et celle de la roche qui lui sert de guangue peut provenir de deux causes : quelquefois, le fossile a conservé une partie de sa substance primitive, mais presque toujours cette différence résulte de ce qu'il a servi de centre d'attraction à la matière accidentellement disséminée dans la roche. Cette concentration s'est produite en vertu des actions moléculaires déjà décrites (tome I, page 503); elle explique comment des fossiles calcaires, siliceux, pyriteux, etc., ont respectivement pour guangue des roches gréseuses, calcaires, marneuses, etc.

Carbonate de chaux ; silice. — Le carbonate de chaux est la substance qui entre le plus fréquemment dans la composition des fossiles. On s'explique qu'il en soit ainsi, lorsqu'on se rappelle le rôle important joué par les roches calcaires dans les terrains de sédiment, et la présence presque constante du carbonate de chaux dans les parties des animaux qui sont susceptibles de se fossiliser, les os des vertébrés, les coquilles, etc.

La silice, quoique plus rare que le carbonate de chaux, peut être considérée comme la substance fossilisante par excellence. « Elle reproduit tous les détails d'organisation de la structure intime des corps par le remplacement, molécule à molécule, de la substance de ceux-ci ; les molécules de silice se trouvent alors placées les unes par rapport aux autres comme celles du corps primitif. Ce phénomène, très fréquent dans la fossilisation des plantes, s'est produit chez les animaux les plus inférieurs, les spongiaires et les rhizopodes. Ainsi beaucoup de silex de l'Egypte sont remplis de nummulites et de coquilles microscopiques complétement silicifiées elles mêmes. Ces corps ont été comme plongés dans un bain de silice gélatineuse, qui les a

imprégnés et enveloppés de toutes parts, et l'on peut, avec un fort grossissement, reconnaître les caractères les plus délicats de leur structure, comme si aucun changement ne s'était produit dans leur composition. La silice a pu imprégner des ossements d'animaux sous forme d'agate, de sardoine ou de calcédoine. Introduite dans les cavités des coquilles, qu'elle n'a pas complétement remplies, elle s'est déposée sur les parois en cristallisant et, dans un autre moment, la même cavité a reçu de la chaux carbonatée dont les cristaux se trouvent enchevêtrés avec ceux du quartz hyalin, et le tout tapisse l'intérieur de ces corps d'élégantes géodes. » (D'Archiac, *Paléontologie stratigraphique*.)

Chaux sulfatée ou *gypse*.— Le gypse n'a point, en général, remplacé ni moulé de corps organisés, mais il a pénétré et imprégné jusqu'à un certain point les ossements enfouis dans les couches qu'il constitue; tels sont ceux de la pierre à plâtre des environs de Paris.

Chaux fluatée ou *fluorine*. — Elle a remplacé le test des coquilles et des tiges de crinoïdes dans le calcaire carbonifère du Derbyshire; elle est très répandue dans des coquilles du lias des environs d'Avallon.

Dolomie ou *carbonate de chaux et de magnésie*. — Les fossiles, d'ailleurs assez rares, que l'on rencontre dans les dolomies, sont fréquemment composés de cette substance. Certains polypiers dévoniens de Gérolstein, dans l'Eifel, et des oursins de la craie de Tercis, près de Dax, seraient également dolomitiques.

Barytine ou *sulfate de baryte*. — Quelquefois, le sulfate de baryte a remplacé le test calcaire des coquilles et des polypiers. Telles sont les astrées, assez fréquentes dans un sable argilo-ferrugineux et feldspathique, sorte d'arkose reposant sur le

granite, non loin d'Alençon, sur la route de Mortain. La barytine a remplacé le test de bélemnites dans le calcaire magnésien de Nontron; plusieurs localités de l'Angleterre ont offert la même particularité. Cette substance est fréquente dans les fossiles du lias qui avoisine l'arkose et les filons de granite du Morvan.

Célestine ou *sulfate de strontiane.* — On cite des fossiles changés en cette substance, mais plus rarement qu'en sulfate de baryte.

Soufre. — Dans certaines circonstances, assez rares d'ailleurs, le soufre paraît s'être trouvé dans un état tel qu'il a pu mouler des coquilles dans le dépôt où elles étaient renfermées. C'est ce qu'on observe dans les marnes lacustres alternant avec du gypse sur le territoire des communes de Villel, de Libros et de Ridova, près de Teruel, en Aragon.

Fer hydraté. — Cette substance a fréquemment imprégné, moulé ou remplacé des corps organisés; telles sont les paludines et les *Unio* moulées par du fer hydraté oolitique des couches tertiaires de Cuisery, près de Tournus (Saône et Loire). Dans les fossiles, le fer hydraté est souvent le résultat d'une épigénie du fer sulfuré.

Fer oxydé et *fer oligiste.* — A l'état de fer oxydé sont les moules d'ammonite du terrain oxfordien de la Voulte (Ardèche), de l'oolite inférieure de Calmoutiers (Haute Saône), du lias supérieur de la Verpillière (Ain), du Mont d'Or Lyonnais, de Sainte Foix, etc., (Rhône). Le test des *Cardinia* et autres coquilles de la lumachelle inférieure du lias de Beauregard (Côte d'Or) sont à l'état de fer oligiste cristallisé, terreux ou compacte.

Fer sulfuré. — La fréquence du fer sulfuré dans la nature explique sa présence dans beaucoup de fossiles. Dans les

couches argileuses de la série crétacée, telles que le gault et les argiles à plicatules d'Apt, de la série jurassique, telles que celles du lias et du terrain oxfordien, certains genres, surtout les ammonites, semblent avoir eu la propriété d'attirer particulièrement ou de faire précipiter les dissolutions du sulfure de fer qui a recouvert les coquilles ou leurs moules d'une couche plus ou moins mince de pyrite jaune, et cela avec une délicatesse et une perfection de détails qui laissent bien loin derrière elles les résultats les mieux réussis de la galvanoplastie. Le fer sulfuré a aussi remplacé le test lui même.

Vivianite ou *fer phosphaté*. — Cette substance se rencontre quelquefois dans les fossiles; elle en remplit la cavité, tapisse cette cavité de cristaux et plus rarement y prend la place du test lui même. Le phosphate de chaux, qui constituait la plus grande partie du corps à l'état vivant, a pu, au contact du fer existant accidentellement près de ce corps, se transformer en phosphate de fer. Il existe en Crimée un dépôt tertiaire où se trouvent des coquilles dont le test est en partie conservé avec sa substance primitive, tandis que l'intérieur est rempli de cristaux de vivianite prismatique bleu foncé. A la Bouiche, en Bourgogne, on a trouvé des vertèbres fossiles dont l'intérieur était tapissé de cristaux de cette substance. Le fer phosphaté bleu pulvérulent revêt quelquefois, sous forme de belles taches bleues, la surface de certaines coquilles; tels sont quelques échantillons de Grignon, près de Versailles. On rencontre, dans quelques couches, des fragments d'ivoire, des dents et des ossements pénétrés de fer phosphaté qui leur a donné une couleur bleue. Cette couleur les a fait comparer aux turquoises orientales et on a utilisé dans la bijouterie des dents de mammifères fossiles provenant de Simorre (Gers), de la

Bohême, de la Suisse, de la Russie et de la Sibérie. Leur dureté est moindre que celle des véritables turquoises, elles sont attaquables par les acides et donnent en brûlant une odeur animale.

Fer carbonaté ou *sidérose.* — Le fer carbonaté compacte constitue, dans les dépôts houillers de divers pays, des masses ou rognons déprimés, enveloppant souvent dans leur intérieur des restes de poissons, de plantes, etc., qui semblent avoir servi de centre d'attraction à la substance minérale; il en existe de semblables dans certaines argiles du lias qui renferment des ammonites, aux environs de Nancy, par exemple.

Chalkopyrite, ou *sulfure double de fer et de cuivre.* — Cette substance a minéralisé les poissons des schistes cuivreux de la Thuringe et du Mansfeld.

Cuivre carbonaté vert ou *malachite.* — Il paraît avoir minéralisé des végétaux en Sibérie, et il en serait de même du cuivre carbonaté bleu ou azurite.

Plomb sulfuré ou *galène.* — La galène s'observe fréquemment à l'intérieur des fossiles du lias des environs d'Avallon et de Semur. On cite des huîtres dont le test aurait été complétement remplacé par du plomb sulfuré. On signale aussi des cristaux de cette substance disséminés dans des végétaux fossiles. La galène se présente encore cristallisée dans les fossiles des calcaires de transition de la partie supérieure du bassin du Mississipi.

Zinc sulfuré ou *blende; zinc carbonaté.* — La blende a minéralisé quelques polypiers du terrain de transition de Diepetringen, près de Griesenwich, de même que la calamine brune de Nirm, près de Stolberg.

Cinabre ou *mercure sulfuré.* — Cette substance, plus ou moins mélangée de matières étrangères, se trouve quelque-

fois dans les cavités de coquilles, mais on ne la voit guère remplacer leur test; elle a recouvert les empreintes de poissons dans le terrain carbonifère de la Carinthie (Idria) et de Deux-Ponts.

Argent. — Dans les mines argentifères et cuprifères de Mina-Grande, près d'Huantaja, au Pérou, on a trouvé de l'argent natif cristallisé à l'intérieur de coquilles fossiles dans les schistes argileux que traversent les filons métallifères.

Bitume. — Des matières bitumineuses ont quelquefois remplacé et moulé des fossiles dans les couches tertiaires de Bastène (Landes), de Pont du Château (Puy de Dôme), etc. (1).

Fossilisation et minéralisation des végétaux. — Le *moulage* est le procédé le plus simple et le plus général employé par la nature dans la fossilisation des végétaux. Il reproduit tous les caractères d'une feuille ou d'une tige avec d'autant plus de netteté que la substance destinée à recevoir l'empreinte de cette tige ou de cette feuille est formée de parties plus fines; l'argile et le carbonate de chaux, par exemple, se prêtent mieux à cette opération que le sable ou le grès à gros grains.

La fossilisation des débris de végétaux produit des résultats différents suivant leur forme et leur volume.

Si les débris de plantes sont très minces, s'ils sont aplatis, le moulage ne donne alors qu'une sorte d'empreinte ou de dessin dont la vue rappelle à l'esprit les échantillons placés dans les herbiers. Quelquefois, la matière végétale persiste et fournit une empreinte qui se dessine en noir sur le fond de la roche; c'est ce que l'on observe très bien sur les schistes

(1) La plupart de ces détails relatifs aux substances fossilisantes sont extraits du *Cours de Paléontologie stratigraphique* de M. d'Archiac.

houillers avec fougères. D'autres fois, cette matière cède la place à une substance, fréquemment ferrugineuse, disséminée dans la roche. D'autres circonstances, enfin, nous montrent la matière végétale complétement éliminée sans être remplacée; le dessin du fossile n'est alors accusé que par une différence entre sa texture et celle de la roche qui le contient.

Lorsque le végétal, en se fossilisant, a conservé la forme et le volume qu'il avait en premier lieu, on doit distinguer, outre l'opération du moulage, les phénomènes qui se manifestent dans sa masse. La matière primitive disparaît ordinairement, mais d'autres fois elle persiste. Lorsqu'elle disparaît, elle peut laisser un vide après son départ, ou cèder la place à une substance étrangère qui s'introduit dans le végétal à la suite de circonstances variables. Enfin, pendant que la fossilisation s'accomplit, le tissu primitif peut persister ou se détruire d'une manière plus ou moins complète.

Afin de simplifier l'exposé des détails dans lesquels je vais entrer, j'admettrai que le végétal en voie de fossilisation est une tige et je supposerai d'abord que cette tige est creuse, ainsi qu'on l'observe dans les prêles de l'époque actuelle et dans les calamites des temps anciens, ou bien que son tissu intérieur est peu résistant et sujet à disparaître plus rapidement que l'écorce. Plusieurs végétaux de la période houillère ont été dans ce dernier cas. D'un autre côté, sir Lyell rappelle que le bouleau à canot (*Betula papyracea*) des forêts marécageuses de la Nouvelle Ecosse possède une écorce si dure que sa forme extérieure présente souvent une apparence tout à fait saine, tandis qu'il n'existe en réalité qu'un cylindre creux dont le ligneux a disparu par décomposition. La matière qui vient alors combler le vide de la tige est de la même nature que le terrain dans lequel cette tige est engagé; si ce terrain

présente des alternances de roches diverses disposées en bancs très minces, ces alternances se reproduisent dans l'intérieur de la tige et s'y disposent dans le même ordre qu'à l'extérieur.

Le mode de fossilisation qui vient d'être décrit est désigné sous le nom de *fossilisation* par *pénétration mécanique.* Supposons maintenant que la substance primitive persiste; elle pourra se transformer en matière charbonneuse; il y aura *fossilisation* par *carbonisation,* avec ou sans persistance des tissus.

Dans quelques bois fossiles des terrains récents, la couleur, l'aspect et la texture du ligneux ont persisté d'une manière plus ou moins complète.

La conservation du bois est due surtout à la présence de l'eau qui préserve le ligneux de la décomposition, ainsi qu'on le constate pour les pilotis d'anciens édifices. Cette propriété conservatrice de l'eau est accrue par les substances antiseptiques qu'elle contient et dont l'action est mise en évidence par le phénomène du tourbage. Les substances métalliques tenues en dissolution dans l'eau sont aptes également à déterminer la conservation du ligneux; on remarque, en effet, que les bois fossiles sont fréquemment pénétrés de pyrite. On sait que le sulfate de cuivre est employé avec un grand succès pour la conservation des traverses de chemins de fer et des poteaux télégraphiques. Il existe, au Conservatoire des arts et métiers de Paris, le bois d'une roue datant au moins du cinquième siècle; cette roue avait servi à l'épuisement des eaux dans les mines de cuivre de San Domingos, en Portugal; une si longue durée a été l'effet de l'action antiseptique des sels de fer et de cuivre (1).

(1) Un exemple non moins remarquable de tissus ligneux constamment imprégnés de solutions salines s'observe dans les boisages des mines de Hallein, en Autriche; ces boisages, qui se sont conservés intacts jusqu'à nos

Enfin, dans d'autres circonstances, la matière végétale disparaît lentement pour être remplacée, molécule à molécule, par une des substances contenues dans la masse où la tige est en voie de se fossiliser; il y a *fossilisation* par *pétrification*. La fossilisation est dite par *substitution* lorsque les tissus primitifs ont persisté. Si l'échange entre les molécules primitives du bois et la substance lapidifique destinée à les remplacer s'effectue avant la décomposition de la matière végétale, les tissus peuvent être conservés, et, une fois pétrifiés, se prêter à l'étude du microscope comme lorsqu'ils étaient vivants; dans le cas contraire, une substance amorphe vient occuper la place de ces tissus. Il arrive aussi que la fossilisation du végétal s'est opérée d'une manière inégale, de sorte que, sur certains points, il présente une matière amorphe, tandis que, sur d'autres, il possède encore sa structure intérieure.

Expériences de M. Gœppert. — Ces expériences permettent de se faire une idée des procédés employés par la nature dans la pétrification et dans la minéralisation des plantes. Ayant plongé des substances animales et végétales dans des eaux tenant en dissolution, tantôt du calcaire, tantôt de la silice, tantôt des matières métalliques, le savant professeur de Breslau reconnut, au bout de quelques jours, que ces substances étaient minéralisées. De minces lanières de sapin ayant été laissées pendant quelques jours dans une dissolution de sulfate de fer, il les fit sécher ensuite et les exposa à une chaleur assez forte, jusqu'à ce que la matière végétale fût consumée et que rien ne restât que l'oxyde de fer. La sub-

jours, remontent aux premiers temps de l'exploitation, antérieurs à l'ère chrétienne.

stance métallique avait si bien respecté le tissu primitif que l'on reconnaissait au microscope les vaisseaux ponctués caractéristiques des conifères. Toutefois, on aurait tort d'établir une similitude complète entre le procédé qui vient d'être décrit et celui que la nature emploie. Dans l'expérience de M. Gœppert, la substance métallique s'était infiltrée dans les vaisseaux et dans les lacunes existant à travers les tissus, en vertu d'une opération semblable à celle dont on se sert dans l'industrie pour rendre le bois moins facile à se décomposer; elle n'avait remplacé ni ces vaisseaux ni ces tissus.

M. Gœppert a fait encore une série « d'expériences fort curieuses, dans lesquelles il est parvenu à produire quelques imitations remarquables de pétrifications fossiles. Il a placé des fougères récentes entre des couches molles d'argile qu'il avait fait sécher à l'ombre; puis il les a échauffées lentement et graduellement jusqu'au rouge. Cette opération a donné pour résultat une imitation si parfaite de plantes fossiles, qu'un géologue, même très exercé, aurait pu s'y tromper. Suivant les différents degrés de chaleur appliqués à l'argile, les plantes se trouvaient de couleur brunâtre, ou à l'état de carbonisation parfaite; quelquefois, mais plus rarement, elles étaient d'un noir brillant et adhéraient fortement à la couche d'argile. Si la chaleur rouge était maintenue jusqu'à ce que toute la matière organique fût comburée, il ne restait plus que l'empreinte de la plante. » (Lyell, *Principes de Géologie.*)

Substances fossilisantes chez les végétaux. — Ces substances sont habituellement le fer sulfuré ou hydraté, le carbonate de chaux et surtout la silice. Les végétaux semblent avoir, pendant la fossilisation, une affinité particulière pour la silice, si l'on en juge par les troncs d'arbres silicifiés que l'on rencontre

dans tous les terrains et dans tous les pays. Comme exemple de silicification du bois, on cite les piliers d'un pont sur le Danube dont on attribue la construction à Trajan; ces piliers se sont pénétrés de silice jusqu'à une profondeur de six lignes dans l'intérieur du bois. Dans les lignites de Sars-Poterie (Nord), des bois sont changés partie en fer sulfuré, partie en silice. On a trouvé dans un aqueduc romain, à Eilsen, dans la principauté de Lippe-Bukeberg, un morceau de bois de hêtre, où le carbonate de chaux était substitué à la matière ligneuse; une coupe transversale montrait ces parties pierreuses irrégulièrement circulaires, d'une ligne et demie de diamètre; ces parties pierreuses se prolongeaient dans toute la longueur du morceau, soit d'une manière continuè, soit sous forme de chapelet. Un fragment de bois antique provenant du quai de Carthage renfermait près de 48 °/₀ de carbonate de chaux formant des veines blanches dans le sens des fibres ligneuses.

Dendrites; ludus; stylolites; orbicules siliceux, etc. — Les roches offrent divers accidents, qui ont été quelquefois considérés à tort comme ayant une origine organique. Tels sont les *dendrites,* jadis désignées sous le nom d'*arborisations* (tome I, page 493), les *ostéocolles* (idem, page 504), les *ludus* et les *septaria* (idem page 506), les *stylolites* (idem, page 512) et les *orbicules siliceux*. Je me borne à mentionner ces accidents dont j'ai déjà parlé, mais je vais entrer dans quelques détails au sujet des orbicules siliceux qui n'ont pas encore attiré mon attention; le moment est venu de m'en occuper, puisque ce n'est guère que sur les fossiles qu'on les observe.

Les orbicules siliceux se présentent sous la forme de taches ayant l'aspect de l'opale et entourées de stries concentriques, plus ou moins régulières et séparées les unes des autres par un

intervalle plus ou moins grand. Ils existent sur les fossiles composés comme eux de silice. On les a d'abord attribués à un ver conchyliophage. En 1830, M. Raspail, qui les avait étudiés sur les bélemnites du terrain néocomien de la Provence, les considérait comme des polypiers particuliers qu'il nommait *spirozoïtes belemnitiphagus*. L'année suivante, L. de Buch et Alex. Brongniart admettaient dans la silice une prédisposition particulière à former des couches concentriques. Ce dernier s'efforçait de prouver qu'il y a identité de cause entre les orbicules des corps organisés et la forme circulaire qu'affectent les diverses couches de silice dans les agates, les onyx, etc. Pour M. d'Archiac, dont nous adoptons la manière de voir, la ressemblance invoquée par Alex. Brongniart est plus apparente que réelle; le phénomène des orbicules siliceux serait dû à des circonstances inconnues; en outre, il paraîtrait être local. M. d'Archiac n'a pas encore reconnu ce phénomène dans aucun os de vertébré, ni sur aucun test de crustacé ou de mollusque gastéropode; il ne l'a pas non plus observé dans les coquilles à test nacré. Les orbicules siliceux existent spécialement dans les huîtres, les peignes, les spondyles, les rudistes et les radiaires de la craie du sud ouest de la France, dans les térébratules et les polypiers du groupe jurassique moyen de l'est de la France, dans le terrain à chailles des départements du Doubs et de la Haute Marne, etc.

CHAPITRE II.

PARTIES QUI, DANS LES PLANTES ET LES ANIMAUX, SE PRÊTENT LE MIEUX A LA FOSSILISATION.

Parties des animaux susceptibles d'être rencontrées à l'état fossile. — Ossements et dents des vertébrés. — Organes épidermiques des vertébrés ; ichthyodorulites. — Téguments et pièces cornées des annelés ; valves des cypris, tubes des annélides, aptychus. — Coquilles et parties dures des mollusques ; test, nacre, épiderme d'une coquille. — Osselets des céphalopodes ; bélemnites. — Enveloppes et parties dures des radiaires ; échinodermes ; polypiers ; pétrospongides ; graptolites. — Bryozoaires, rhizopodes, infusoires. — Coprolites ; cololites ; œufs d'oiseaux, etc. — Organes des végétaux qui passent le plus facilement à l'état fossile ; gyrogonites. — Etat dans lequel se présentent les débris fossiles des corps organisés ; application du principe de la corrélation des organes.

Parties des animaux qui se rencontrent à l'état fossile ; ossements des vertébrés. — Les *os* sont composés de tissu cartilagineux et de substances terreuses. Le tissu cartilagineux persiste seul lorsqu'un os est soumis à l'action des acides ; mais, dans la fossilisation, il disparaît le premier. C'est à la présence des substances terreuses que les os doivent leur dureté. Ces substances sont surtout le phosphate de chaux dans la proportion de 50 à 60 pour cent, et le carbonate de chaux dans la proportion de 4 à 12 % environ. Ces évaluations s'appliquent aux os appartenant à des animaux vivants. Les quantités relatives de substances terreuses augmentent rapidement, tandis que celles de substances gélatineuses diminuent pour les os enfouis

dans le sol ou abandonnés au contact de l'atmosphère. Le phosphate de chaux possède une dureté considérable et une stabilité chimique très grande; aussi de tous les organes d'un vertébré, les os et les dents sont-ils ceux qui passent le plus facilement à l'état fossile. Mais comme la quantité de phosphate de chaux varie pour les divers os d'un même squelette et pour les divers groupes de vertébrés, il en résulte que leurs chances de conservation varient de même. Les os des poissons contiennent moins de phosphate de chaux que ceux des autres vertébrés : ceux des poissons cartilagineux n'en contiennent même presque pas. Aussi, les poissons sont-ils assez rarement représentés à l'état fossile par quelque partie de leur squelette, bien que le milieu où ils vivent soit particulièrement favorable à l'enfouissement de leurs débris dans les dépôts en voie de formation.

La fossilisation, en remplaçant la matière cartilagineuse par des substances pierreuses ou métalliques, a d'ailleurs pour résultat d'augmenter la densité des os.

Les *vertèbres* constituent la partie essentielle, constante du squelette. Dans les poissons, elles sont toujours biconcaves, c'est à dire qu'elles présentent en avant et en arrière une cavité conique. Ce caractère se retrouve, d'une manière plus ou moins complète, chez quelques reptiles et notamment chez les reptiles fossiles qui, par plusieurs particularités de leur organisation, accusaient une tendance vers le type poisson; il se montre très nettement chez l'ichthyosaure.

Les autres os du squelette se distinguent en *os longs* et en *os courts*. Leur tissu, leur structure et leur forme présentent pour chaque classe des différences qu'il est difficile d'indiquer en peu de mots, mais que l'habitude fait connaître.

Avec les os il faut mentionner : 1° les *bois* des cerfs et des

animaux de la même famille; ces bois diffèrent complétement par leur nature des cornes des autres ruminants; par leur composition ils offrent la plus grande analogie avec la partie spongieuse des os. 2° Les *carapaces* des tortues, résultant du développement et de la soudure du sternum, des côtes et des vertèbres; ces os forment une cuirasse recouverte par la peau ordinairement divisée en écailles.

Dents des vertébrés. — Les *dents* se rencontrent à l'état fossile encore plus fréquemment que les os; en outre, de toutes les parties dont se compose le squelette d'un vertébré, les dents sont celles qui facilitent le plus la détermination des genres et des espèces. Aussi la connaissance de leurs variations de forme et de composition est-elle très utile au géologue. On peut aisément indiquer, à l'inspection d'une dent, la classe, et quelquefois même le genre de l'animal auquel elle appartenait. On sait que quelques mammifères, tous les oiseaux, les chéloniens et quelques batraciens sont dépourvus de dents. Chez les poissons et les reptiles, les dents sont quelquefois en pavé, plus souvent aiguës, tranchantes et coniques; elles se ressemblent plus ou moins par leur forme dans un même animal; elles adhèrent à la peau, se soudent à la machoire ou s'enfoncent dans des alvéoles distinctes. Anciennement, on appelait *glossopètres* (γλοσσα, langue; πετρος, pierre) les dents de squales, parce qu'on les considérait comme des langues de poissons pétrifiées.

Les mammifères sont seuls hétérodontes, c'est à dire munis de trois sortes de dents : *incisives, canines, molaires;* celles-ci ont ordinairement plus d'une racine. Toutes sont logées dans des alvéoles. Chez les proboscidiens, les incisives supérieures se prolongent sous la forme de *défenses* qui, chez le mam-

mouth atteignaient deux mètres de longueur. Une dent de mammifère se compose d'une partie saillante et dénudée, appelée *couronne*, et d'une portion basilaire, la *racine*, engagée dans l'alvéole. L'*ivoire* forme presque toute la masse de la dent et en occupe l'intérieur; l'*émail* enveloppe l'ivoire et constitue, à la surface de la couronne, une sorte de vernis ou de couverture pierreuse; enfin, vers l'extrémité de la racine, et, dans certaines espèces, autour de la couronne, une troisième matière, le *cément* ou substance corticale, recouvre l'émail.

Les dents se rapprochent beaucoup des os par leur composition; seulement, la proportion de matière gélatineuse et de carbonate de chaux y est moindre, tandis que celle de phosphate de chaux y est plus forte. La proportion de carbonate de chaux peut être réduite à 5, 4, 3 et même 2 pour cent, tandis que celle de phosphate de chaux peut s'élever à 60, et même dans l'émail à 90 °/₀. C'est à la présence du phosphate de chaux que l'émail doit sa grande dureté et sa propriété de faire feu au briquet. La composition que je viens d'indiquer est celle des dents à l'état vivant; on conçoit que cette composition varie, pour les dents fossiles, soit avec leur ancienneté, soit avec la nature de la roche qui les renferme.

» Des diverses parties solides des animaux vertébrés, celles qui ont le plus énergiquement résisté aux causes de destruction chimique et physique de tous les temps, celles que, par conséquent, on ne trouve jamais à l'état de moules ou d'empreintes, et qui ont presque toujours conservé une fraîcheur telle qu'elles semblent s'être détachées à l'instant de l'animal, ce sont les dents de poisson, les plaques palatales ou en pavés, etc., qui garnissent la bouche de ces animaux. On les rencontre souvent à profusion dans des couches où l'on ne trouve

point de traces de leurs autres parties, sauf quelquefois des vertèbres en petit nombre. Les analyses de M. Frémy ont démontré que cette inaltérabilité presque absolue était due à une proportion énorme de phosphate de chaux au moins égale à celle de l'émail des mammifères; l'émail d'une dent fossile de carcharodon des faluns de Dax a fourni à ce savant 81,4 % de phosphate de chaux, 6 % de phosphate de fer et de magnésie, et 10,2 % de carbonate de chaux.» (D'Archiac, *Paléontologie stratigraphique.*)

Organes épidermiques des vertèbres. — Presque tous ces organes sont rares à l'état fossile; leur faible dureté ne leur permet pas d'opposer une grande résistance aux agents mécaniques de destruction; en outre, ils renferment trop peu de substances terreuses pour que leur décomposition ne s'effectue pas promptement.

Cette rareté existe notamment pour les ongles, les cornes creuses des ruminants, les poils, les piquants des porcs épics, les plumes des oiseaux, les écailles des reptiles, etc. Comme exemples d'une conservation exceptionnelle, je citerai : des fragments de carapace de tatou fossile, recueillis dans les pampas de l'Amérique méridionale (un de ces fragments a donné à l'analyse plus de 80 % de matière terreuse, ce qui explique sa conservation); des cornes de ruminants dans les cavernes à ossements de l'Europe; des portions de plumes que possède le muséum de Paris et qui proviennent du terrain tertiaire de l'Auvergne, de Monte Bolca et du gypse de Montmartre.

C'est la classe des poissons qui fournit les exemples les plus nombreux d'organes épidermiques fossilisés. D'après les analyses de M. Chevreul, la quantité de phosphate de chaux contenue dans les écailles varie de 38 à 55 %, et celle de car-

bonate de chaux de 1 à 10 %: cette composition nous dit pourquoi les écailles de poissons se montrent bien plus fréquemment dans les strates que celles de reptiles.

Les autres organes dépendant de la peau des poissons et qui se présentent à l'état fossile sont les plaques d'émail des poissons cartilagineux, les tubercules des raies, et les *ichthyodorulites* ou rayons dorsaux fossiles que l'on rencontre isolés. On a fait un grand nombre de genres d'ichthyodorulites, sans pouvoir en rattacher aucun à des formes déterminées de poissons ; les uns, moins nombreux, ont à leur base une facette correspondante au point d'articulation avec l'os qui les supportait; les autres, dépourvus d'articulation, étaient simplement suspendus à des chairs et ont appartenu à des poissons cartilagineux.

Téguments et pièces cornées des annelés. — Parmi les annelés, ce sont les crustacés dont les débris apparaissent le plus fréquemment à l'état fossile. Ils vivent pour la plupart dans les eaux douces ou salées et se trouvent ainsi placés dans les circonstances les plus favorables à leur fossilisation. Après leur mort, l'enveloppe qui les protège peut d'ailleurs, grâce à sa composition, persister pendant un temps plus ou moins long. Les principales substances dont l'analyse chimique dénote l'existence dans les parties tégumentaires des crustacés sont : le carbonate de chaux, le phosphate de chaux, l'albumine et la *chitine*. La chitine est une substance peu altérable, non azotée, se rapprochant, par sa composition, de la cellulose. D'après les analyses qui ont été faites du test de la langouste, du homard, du crabe et de l'écrevisse, la quantité de matière organique varie entre 29 et 45 pour cent, celle du phosphate de chaux entre 4 et 7 pour cent et celle du carbonate de chaux

entre 48 et 60 pour cent. Les proportions de principes terreux varient non seulement d'une espèce à l'autre, mais aussi pour les diverses parties de l'enveloppe d'un même individu; aussi existe-t-il des espèces dont on ne trouve que la carapace dorsale, d'autres, les pinces, etc. Les crustacés du genre *Pagurus,* vulgairement désignés sous le nom de *Bernard l'hermite,* ont l'abdomen mou, et, pour le protéger, ils se logent dans une coquille dont ils chassent l'habitant et qu'ils traînent après eux, ne montrant que leurs pinces antérieures qui sont presque les seules parties de leur corps aptes à se fossiliser.

Les *Cypris* sont des crustacés de très petite taille, parfois presque microscopiques. Leur corps est contenu dans une carapace formée de deux valves qui peuvent s'ouvrir et se fermer au moyen d'une charnière. Ces valves se montrent en telle abondance dans certaines strates que celles-ci sont désignées sous le nom de *calcaire* ou de *marnes à Cypris.*

Les parties dures de cirrhipèdes se rapprochent beaucoup par leur composition, en majeure partie calcaire, des coquilles de mollusques; aussi leurs conditions de fossilisation sont-elles les mêmes. C'est parmi les cirrhipèdes pédonculés, près des anatifes, que l'on s'accorde maintenant, après une longue discussion, à placer les animaux auxquels appartenaient les *Aptychus.* Les aptychus se présentent sous la forme de deux lames subtriangulaires, un peu concaves, à surface tantôt lisse, tantôt marquée de gros plis plus ou moins réguliers et parallèles.

Les annélides tubicoles sécrètent des tubes où l'animal peut se cacher complétement. Ces tubes sont calcaires dans les genres *Serpula, Spirorbis,* etc.; dans le genre *Terebella,* ils consistent en une membrane que des grains de sable aglutinés rendent plus solide.

Les débris d'insectes sont très rares à l'état fossile. Cette rareté s'explique par le milieu où vivent ces animaux, presque tous à respiration aérienne, par la fragilité de leurs organes, et par la faible quantité de chitine et de matières terreuses qui entrent dans la composition de leurs parties tégumentaires. Les débris d'insectes n'apparaissent que sur les points où des circonstances exceptionnelles ont déterminé leur conservation. On rencontre, dans le terrain lacustre de l'Auvergne, des couches de plus de deux mètres d'épaisseur, constituées en majeure partie par des *induses*. Les induses se présentent sous la forme d'étuis dont les parois résultent de l'aglutination de grains de sable, de petites coquilles d'eau douce et de menus fragments de végétaux. Ce sont les enveloppes des larves de phryganes, insectes névroptères qui ressemblent beaucoup à des phalènes.

Coquilles et parties dures des mollusques. — Presque tous les mollusques vivent dans l'eau, c'est à dire dans le milieu où s'effectue la formation des strates; il n'est donc pas étonnant que leurs débris existent en si grand nombre dans les terrains sédimentaires. D'ailleurs, la composition de leurs parties dures, presque toujours très riches en carbonate de chaux, est on ne peut plus favorable à leur fossilisation.

Les mollusques sont rarement nus. Ordinairement, une enveloppe extérieure ou coquille les recouvre et les protège. Les espèces du genre *Phorus*, formé aux dépens des *Trochus*, possèdent même la propriété d'aglutiner, autour de leur coquille, des corps étrangers; elles se fabriquent ainsi, au moyen de graviers et de fragments de coquilles ou de coraux, une seconde enveloppe, dont les divers éléments sont quelquefois disposés avec un certain ordre.

La coquille des mollusques est très rarement cornée, comme dans les lingules et les ptéropodes. Presque toujours elle est calcaire et présente, sur cent parties, la composition suivante : matière animale, 1 à 3; eau, 1 à 1 $^1/_2$; phosphate de chaux, 1 à 2; carbonate de chaux, 94 à 98. La substance de la coquille se compose de trois parties : le *test* proprement dit, qui paraît être ordinairement formé de fibres perpendiculaires; la *nacre,* qui occupe l'intérieur de la coquille et qui doit ses nuances irisées au phénomène d'optique connu sous le nom d'interférence; l'*épiderme*, substance cornée, brunâtre, qui, dans la plupart des mollusques marins et dans les moules d'eau douce recouvre les coquilles et voile leur éclat. Ces trois parties n'atteignent pas dans toutes les espèces le même développement relatif. Le test très mince du nautile actuel se compose presque exclusivement de nacre; il en était probablement de même pour les ammonites et les anciens céphalopodes à coquille externe. Le test proprement dit ou tissu fibreux est surtout très abondant dans le genre *Pinna*, et les genres voisins (*antè*, page 15). Quelques gastéropodes ont un *opercule* adhérent au pied et destiné à fermer la coquille lorsque l'animal s'y est retiré; cette pièce est tantôt calcaire, tantôt cornée.

Les céphalopodes dépourvus d'une coquille externe possèdent ordinairement dans l'intérieur de leur corps un *osselet* de forme déprimée, destiné à soutenir et à protéger les organes. Cet osselet varie beaucoup, dans sa structure, d'une famille à l'autre. Lorsqu'il atteint son plus haut degré de complication, ainsi que cela avait lieu pour l'animal auquel appartenait la bélemnite, il se compose de trois parties : 1° une *lame*, plus ou moins étendue, de forme et de consistance très variables; 2° une cavité divisée par des cloisons en

loges régulières et constituant ce que l'on appelle, dans la bélemnite, le *godet;* 3° le *rostre*, prolongement placé en arrière de l'osselet. Ces trois parties offrent un développement relatif et une composition qui varient pour chaque famille. Les spirules ont une coquille interne cloisonnée, sans lame ni rostre; cette coquille est nacrée, blanche, partiellement contournée en spirale discoïde. L'osselet du calmar (*Loligo*) ou, comme on l'appelle vulgairement, sa *plume*, est d'aspect corné; il est composé de chitine et de matière terreuse; il ne possède ni rostre ni loges aériennes et sa forme rappelle celle d'une plume ou d'une spatule. L'osselet interne de la seiche, vulgairement désigné sous le nom *d'os de seiche*, est de nature testacée; il renferme 85 °/₀ de carbonate de chaux et 11 °/₀ de matière animale; il se termine postérieurement par une petite pointe calcaire, constituant le rostre. Dans les bélemnites, la lame ou osselet était de nature cornée, ainsi que la partie extérieure du godet; les cloisons, placées dans l'intérieur de celui-ci, et le rostre étaient de nature calcaire; c'est pour cela qu'ils se rencontrent seuls à l'état fossile; le rostre, que l'on désigne plus spécialement sous le nom de *bélemnite* (βελερνον, trait, dard), correspond à la petite pointe placée à l'extrémité de l'os de la seiche. Enfin, le poulpe, *Octopus*, est entièrement dépourvu d'osselet interne.

Les autres parties solides que les céphalopodes possèdent et que l'on peut, par conséquent, rencontrer à l'état fossile, sont les organes de la manducation consistant en deux mandibules calcaires ou cornées. Des becs analogues à ceux des céphalopodes vivants ont été recueillis à l'état fossile. Les uns ressemblent complètement à ceux des nautiles actuels; les autres ne se rapportent à aucun genre connu et peuvent avoir appartenu à des céphalopodes acétabulifères; ceux-ci se partagent en trois

types que l'on distingue par les noms de *Conchorynchus*, *Rhynchoteuthis*, *Palœoteuthis*.

Enveloppes et parties dures des radiaires. — Ce que nous venons de dire des chances et du mode de conservation des mollusques s'applique en tous points aux radiaires ou zoophytes.

Les échinodermes ont le corps enveloppé d'un tégument calcaire que recouvre une épiderme très mince, ce qui, au point de vue anatomique, établit une différence entre ce tégument et la coquille des mollusques. Ces animaux sont représentés à l'état fossile par leur enveloppe tégumentaire, par les épines ou baguettes qui recouvrent cette enveloppe, par les osselets ou pièces solides placées dans l'intérieur de leur corps, et, enfin, par les pièces articulées qui, en se superposant, forment les racines, la tige et les branches des crinoïdes (*posteà*, chap. IV).

Les polypes sont quelquefois nus et composés seulement d'une substance gélatineuse qui disparaît peu après la mort de l'animal; aussi ces polypes ne sont-ils pas représentés à l'état fossile. Un plus grand nombre sont formés d'une matière cornée ou calcaire qui remplit les mailles d'un réseau constitué par la substance organique. Les espèces dont l'axe est corné se montrent rarement dans les strates sédimentaires; il en est ainsi notamment pour les gorgones dont une espèce vivante, *Gorgonia setosa*, a donné à l'analyse 93 % de matière animale. Mais, dans les polypiers calcaires, la proportion de substance pierreuse est bien plus considérable; aussi ces polypiers sont-ils très abondants dans les terrains stratifiés. Les axes de pennatules renferment, d'après M. Frémy, 23 à 16 % de phosphate de chaux, 44 à 54 % de carbonate de chaux, et 30 à 33 % de matière organique.

Quelques paléontologistes placent dans les alcyonnaires, à côté des gorgones et des pennatules, certains corps spéciaux au terrain silurien et auxquels on a donné le nom de *graptolites* (γραφω, j'écris; λιθος, pierre). Ces corps n'existent qu'à l'état fossile et leurs caractères zoologiques restent encore douteux. Ils consistent en une tige plus ou moins aplatie, portant, de chaque côté ou d'un seul, des cellules dont chacune servait de demeure à un polype. Cette tige, longue quelquefois de vingt cinq centimètres, se dirige, selon les espèces, en ligne droite, en spirale dans un même plan, ou en hélice.

L'embranchement des radiaires comprend d'autres animaux qui possèdent des parties solides susceptibles d'être rencontrées dans les strates; tels sont les spongiaires, c'est à dire les animaux ayant l'éponge pour type. Les spongiaires vivants sont des corps polymorphes gélatineux, criblés de trous et de canaux, et dont la masse est soutenue soit par des filaments cornés, soit par des spicules siliceuses et calcaires déterminant par leur entrecroisement une sorte de squelette. Ces spongiaires à squelette corné sont à peu près inconnus à l'état fossile. On considère, comme étant des spongiaires, des corps qui offrent avec eux une certaine analogie de forme, mais qui n'avaient probablement pas de spicules ou de substance cornée. Ces corps, désignés sous le nom de *pétrospongides* ou de spongiaires à squelette pierreux, n'existent qu'à l'état fossile : diverses circonstances démontrent que ces corps avaient déjà de leur vivant leur consistance pierreuse actuelle.

Bryozoaires; rhizopodes; infusoires. — Chacun des trois embranchements d'invertébrés comprend certains animaux d'un si faible volume qu'on ne peut les étudier qu'à la loupe ou au microscope. Quelques uns de ces animaux n'offrent pas dans

leur organisation de parties solides; aussi les strates sédimentaires ne montrent-elles jamais des traces de leur ancienne existence. Mais il en est d'autres dont le corps est soutenu par un squelette pierreux, comme dans les bryozoaires et les rhizopodes, ou protégé par une enveloppe résistante comparable aux deux valves d'une coquille, ainsi qu'on l'observe dans les cypris, parmi les crustacés.

Les êtres organisés, vaguement désignés sous le nom d'*infusoires*, sont tous microscopiques; les uns appartiennent au règne animal, les autres au règne végétal. Il en est parmi eux qui ne possèdent pas d'enveloppe solide et dont le corps est complétement détruit lorsqu'ils ont cessé d'exister; mais la plupart sont entourés d'une cuirasse ou carapace ordinairement calcaire pour ceux qui appartiennent au règne animal (*microzoaires*), et siliceuse pour ceux qui prennent place parmi les végétaux (*microphytes*).

Les parties solides qui supportent ou protègent le corps des animaux dont il vient d'être question présentent fréquemment au microscope des dessins d'une variété infinie et d'une grande élégance; malgré leur délicatesse, ces dessins ont été entièrement respectés pendant la fossilisation et leur étude micrographique offre le plus vif intérêt. Ce parfait état de conservation est la conséquence de ce que ces animaux ont ordinairement laissé leurs débris sur la place où ils ont vécu; lorsqu'ils ont été entraînés par les courants, leur faible volume les a fait voyager de compagnie avec des corps d'une ténuité extrême, tels que des particules argileuses, dont le frottement ne pouvait exercer sur eux une action sensible.

Coprolites; cololites, œufs d'oiseaux, etc. — Les *coprolites* (κοπρος, excrément : λιθος, pierre), anciennement désignés sous le

nom de *cônes de mélèze*, affectent une forme plus ou moins arrondie, souvent contournée en spirale, à surface lisse ou légèrement rugueuse. Ils sont tantôt très durs et même susceptibles de poli, tantôt plus ou moins friables. Leur couleur se rapproche du noir, du gris cendré, du jaune, du brun clair, etc. Leur grosseur varie depuis celle d'une noisette, jusqu'à celle du poing. Tous leurs caractères se modifient, ainsi que leur composition, pour chacun des groupes auxquels appartenaient les animaux qui les ont produits; c'est ainsi que la présence de l'acide urique établit une distinction entre les coprolites d'oiseaux et ceux des autres animaux. La présence du carbonate et surtout du phosphate de chaux est constante dans les coprolites; ceux de poissons en contiennent jusqu'à 90 °/₀. On a cru reconnaître dans quelques coprolites des parties encore non digérées; ces parties, qui peuvent renseigner sur le régime de l'animal, sont des fragments d'os et d'écailles de poisson, des poils, des graines se présentant sous la forme de petits corps noirs, etc. On a recueilli des coprolites dans un grand nombre de terrains; les cavernes à ossements, surtout celles de Lunel Viel, de Liège, etc., en ont fourni qui provenaient des animaux, tels que l'ours et l'hyène, qu'elles avaient pour habitants.

Les schistes lithographiques de Solenhofen et de quelques autres terrains plus anciens renferment des corps cylindriques, allongés, entrelacés et repliés sur eux mêmes. M. Agassiz a démontré que la plupart de ces corps étaient des intestins de poissons, ou, du moins, le contenu de ces intestins ayant conservé la forme de l'organe dans lequel ils étaient renfermés; il leur a donné le nom de *Cololites* (κῶλον, intestin; λίθος, pierre). On a trouvé dans l'intérieur de quelques cololites des arêtes de poisson, des fragments de petits rayonnés et des

aglomérations de petits os. M. Agassiz a trouvé des cololites occupant dans l'intérieur de plusieurs poissons fossiles la position ordinaire des intestins. Il pense que les poissons, après leur mort, ont flotté à la surface de l'eau jusqu'à ce que les gaz résultant de la décomposition aient distendu et déchiré la partie abdominale qui a laissé ensuite s'échapper les intestins.

Les cololites étaient, avant les recherches de M. Agassiz, désignées sous le nom de *lumbricites, vermiculites*, etc., parce qu'on les rapportait à des annélides. Ces anciennes désignations ne doivent pas être abandonnées, car probablement il est des cas où elles peuvent être appliquées et où des corps cylindriques et enroulés sont des traces d'annélides plutôt que des intestins de poisson.

Il n'est pas rare de trouver des œufs fossiles d'oiseaux dans le terrain lacustre de l'Auvergne; il en a été rencontré aussi dans les environs de Weimar et dans le gypse d'Aix. On a rapporté de Madagascar quelques fragments osseux et des œufs d'un oiseau dont on a fait le genre *Epiornis ;* ces œufs, dont la capacité était six fois plus grande que celle des œufs d'autruche, ont été recueillis dans des alluvions, et il est possible que la date de leur enfouissement soit assez récente pour qu'on ne puisse pas les considérer comme fossiles. Des œufs de tortue ont été rencontrés dans le terrain falunien de la Gironde. Sir Lyell rapporte avoir recueilli à Tona, au nord de Gotha, dans un tuf contenant des débris d'*Elephas primigenius*, etc., des œufs d'un serpent gros comme ceux de la plus grande couleuvre d'Europe. Citons encore, comme exemples d'organes d'animaux conservés à l'état fossile, les poches à encre de calmar, et les yeux d'ichthyosaure qu'on a recueillis dans le lias de Lime Regis; la fossilisation de ces yeux a été rendue plus facile par un cercle de pièces osseuses qui les protégeaient.

Parties des végétaux se rencontrant à l'état fossile. — Ce qui de prime abord attire l'attention lorsqu'on recherche dans quelles circonstances s'est opérée la fossilisation des végétaux, c'est l'absence chez eux de parties pierreuses ou assez dures pour résister pendant longtemps aux chances de destruction qui les entourent. Remarquons en outre que presque tous les végétaux croissent sur la terre ferme et doivent, par conséquent, avant leur fossilisation, être arrachés du sol où ils ont vécu, puis charriés au fond des eaux douces ou salées. Mais les désavantages qui viennent d'être signalés sont en partie rachetés par la facilité avec laquelle les matières végétales se conservent sous l'eau. D'ailleurs, la fossilisation des végétaux s'effectue avec plus de rapidité qu'on ne pourrait le supposer; on cite des exemples de silicification complète de jeunes feuilles de palmier sur le point de se développer dans l'état où, aux Indes Occidentales, on leur donne le nom de choux palmiers.

Les organes de végétaux que l'on rencontre le plus fréquemment à l'état fossile sont les tiges, les feuilles, lorsqu'elles sont formées d'un tissu résistant ou que leur limbe peut s'étendre facilement entre les plans de séparation des strates, les fruits, lorsqu'ils ne sont pas charnus.

Les plantes exclusivement composées de tissu cellulaire, c'est à dire les lichens, les champignons et les mousses, n'apparaissent à l'état fossile que dans des conditions exceptionnelles; on s'explique aisément que la délicatesse de leurs tissus se soit opposée à leur conservation. Pourtant, les algues marines, grâce à leur habitat, ont laissé des empreintes assez nombreuses sur les strates. Quelques couches sont même désignées sous les noms de *calcaire* ou de *schistes à fucoïdes*, à cause des nombreuses empreintes de fucus ou d'algues qui

tapissent leur surface; mais la détermination de ces empreintes est toujours très difficile et conduit à des résultats peu satisfaisants.

Parmi les plantes cryptogames à tissu cellulaire, je dois mentionner, comme offrant de l'intérêt pour le géologue, les *Chara* qui vivent en si grande abondance dans les eaux douces. La tige et les organes de la reproduction de ces plantes s'encroûtent de carbonate de chaux qui facilite leur fossilisation. Ces organes de la reproduction ont reçu de Lamark le nom de *gyrogonites* (γυρος, cercle : γονη, semence); ils ont la forme d'un corps arrondi, entouré de cinq tubes en spirale; on les rencontre fréquemment dans les terrains lacustres et, notamment, dans les meulières du terrain d'eau douce supérieur des environs de Paris.

Il est, pour chacun des principaux groupes de végétaux, certains caractères particuliers que le géologue doit avoir présents à l'esprit, parce qu'ils sont propres à lui indiquer de prime abord à quel embranchement, à quelle famille, et, parfois, à quel genre appartiennent les objets placés sous ses yeux. Les tiges des cryptogames arborescentes ont des formes qui les font aisément reconnaître (Voir *posteà*, livre XI, chap. III). L'étude des tissus, qui n'ont pas été détruits par la fossilisation, aide également dans cette recherche. Chez les cryptogames arborescentes, les faisceaux fibro-vasculaires sont groupés en lames ou zones diversement contournées; les fougères sont, en outre, caractérisées par leurs vaisseaux scalariformes. Une coupe menée à travers une tige montre les faisceaux fibro-vasculaires disposés sans ordre chez les monocotylédonées, le palmier, par exemple, et en cercles concentriques chez les dicotylédonées. Les conifères font voir les vaisseaux ponctués spéciaux à leur famille. Quant aux feuilles, leurs

nervures sont parallèles chez les monocotylédonées et anastomosées chez les autres végétaux, quelquefois d'une manière régulière et tout à fait caractéristique, ainsi qu'on l'observe pour les fougères.

Dans quel état se présentent les débris fossiles de corps organisés. — Les squelettes des vertébrés sont rarement entiers. Les squelettes complets appartiennent presque toujours à des animaux marins dont la parfaite conservation s'explique non seulement par leur habitat, mais aussi, dans certains cas, par leurs faibles dimensions. Le lias de Lime Regis a fourni des squelettes de reptiles avec les os dans leur position naturelle, montrant pour ainsi dire leurs ligaments, et, jusqu'à un certain point, des vestiges de fibres tendineuses et musculaires. Quant aux poissons, on en trouve, dans un assez grand nombre de localités, des empreintes très nettes disposées comme le sont les débris de végétaux entre les feuillets des roches schisteuses.

Les fragments, souvent très petits, du squelette d'un vertébré peuvent conduire à la détermination de la classe, de la famille, du genre et, quelquefois même, de l'espèce auxquels ce vertébré doit être rapporté. Il n'est pas nécessaire d'avoir en anatomie des connaissances très étendues pour se faire une idée, à la vue d'une dent de lion, de la forme et de l'organisation générale de l'animal dont cette dent provient. On sait qu'une des gloires de Cuvier (1) est d'avoir établi le principe à

(1) « Dans mon ouvrage sur les *Ossements fossiles,* » dit Cuvier en tête de son *Discours sur les Révolutions du globe,* « je me suis proposé de reconnaître à quels animaux appartiennent les débris osseux dont les couches superficielles du globe sont remplies. C'était chercher à parcourir une route où l'on n'avait encore hasardé que quelques pas. Antiquaire d'une espèce nouvelle,

l'aide duquel il est souvent permis, au moyen d'un simple fragment, de réédifier le squelette et l'animal tout entiers. En vertu de ce principe, base de l'anatomie comparée, certains organes s'excluent mutuellement, d'autres s'appellent pour constituer, en se réunissant, le corps de chaque individu. Par conséquent, la possession de l'un d'entre eux peut conduire à la connaissance des autres. Il est certaines combinaisons que la nature n'a jamais réalisées; elle n'a jamais créé de mam-

il me fallut apprendre à la fois à restaurer ces monuments des révolutions passées et à en déchiffrer le sens; j'eus à recueillir et à rapprocher dans leur ordre primitif les fragments dont ils se composent, à reconstruire les êtres antiques auxquels ces fragments appartenaient, à les reproduire avec leurs proportions et leurs caractères; à les comparer enfin à ceux qui vivent aujourd'hui à la surface du globe: art presque inconnu, et qui supposait une science à peine effleurée auparavant, celle des lois qui président aux coexistences des formes des diverses parties dans les êtres organisés. »

Il est juste de rappeler que Vicq d'Azyr avait préparé la voie à Cuvier et qu'une part lui revient dans l'honneur de la découverte des lois fondamentales de l'anatomie comparée: voici du reste comment M. Flourens apprécie la valeur relative des travaux de ces deux hommes illustres: « On ne peut parler des progrès que l'anatomie comparée a dus à Cuvier, sans un respect profond; il ne parlait jamais lui même de cette science qu'avec enthousiasme; il la regardait, et avec juste raison, comme la science régulatrice de toutes celles qui se rapportent aux êtres organisés; et la mort l'a surpris méditant ce grand ouvrage qu'il lui consacrait, et où, rassemblant toutes ses forces, ce génie si vaste eût enfin paru dans toute sa grandeur..... Riche des travaux de ses prédécesseurs, Vicq d'Azyr embrassa l'anatomie comparée dans son ensemble; il y porta ce génie profond qui voit dans les sciences le but à atteindre, et cet esprit de suite par lequel on l'atteint; et la grande réforme opérée en effet par Cuvier dans l'anatomie comparée, nul ne l'a plus avancée que Vicq d'Azyr. Ce fut même un bonheur pour cette science que de passer immédiatement des mains de l'un de ces deux grands hommes dans les mains de l'autre. Vicq d'Azyr y avait porté le coup d'œil du physiologiste; Cuvier y porta plus particulièrement celui du zoologiste; et l'on peut croire qu'elle avait un égal besoin d'être considérée sous ces deux points de vue....... Quoi qu'il en soit, l'anatomie comparée n'était encore qu'un recueil de faits particuliers touchant la structure des animaux. Cuvier en a fait la science des lois générales de l'organisation animale. » (Flourens, *Eloge historique de Cuvier.*)

mifères couverts de plumes, de poissons pourvus de poumons, etc.

Pourtant, le principe de la corrélation des organes n'a pas une valeur absolue et les paléontologistes l'appliquent avec d'autant plus de réserve, que les débris qu'ils étudient appartiennent à des animaux d'un ordre plus inférieur. Son emploi devient assez difficile lorsqu'il s'agit de débris d'invertébrés, mais il est alors moins nécessaire. La partie solide d'un invertébré, ce qui constitue soit sa charpente, soit son squelette intérieur ou extérieur, est ordinairement formée d'un très petit nombre de pièces distinctes, quelquefois même d'une seule, comme dans les gastéropodes. Les valves des brachiopodes et des lamellibranches sont fréquemment isolées, mais dans les mollusques à coquille régulière, équivalve, une des deux valves suffit pour une détermination rigoureuse. Comme exemples de débris qu'il est quelquefois difficile de rapporter à l'espèce à laquelle ils ont appartenu, je citerai les baguettes d'échinides qui sont rarement rattachées à leur test; leur étude offre d'autant plus de difficulté, au point de vue de la spécification, qu'un même test possède ordinairement des baguettes de diverses formes.

Les végétaux fossiles sont rarement complets. On conçoit que, pendant qu'ils sont transportés du sol émergé où ils ont vécu au fond des eaux où leur fossilisation doit s'opérer, les parties dont ils se composent soient d'abord séparées les unes des autres, puis déposées sur des points différents, les tiges d'un côté, les feuilles de l'autre. Il en résulte des erreurs de détermination dont un des meilleurs exemples nous est fourni par les stigmaria, que l'on avait d'abord considérées comme étant des végétaux aquatiques et qui ne sont rien autre chose que des racines de sigillaires.

CHAPITRE III.

EMPREINTES PHYSIOLOGIQUES, ORGANIQUES ET PHYSIQUES. — GISEMENTS DES FOSSILES.

Empreintes physiologiques. — Ornithichnites. — Empreintes organiques. — Traces d'animaux perforants. — Empreintes physiques; forêts, gouttes de pluie, ondulations, etc., fossiles. — Gisements de fossiles. — Conditions qui ont présidé à l'enfouissement des vertébrés dans les strates marines. — Rareté, dans ces strates, des oiseaux et des animaux à respiration aérienne. — Enfouissement subit des animaux. — Gisements dans les strates marines ou lacustres : fossiles remaniés. — Gisements dépendant des formations terrestres; terrains de transport, cavernes à ossements, tourbe. — Fossiles du succin.

Empreintes physiologiques. — Par *empreintes physiologiques*, il faut entendre les traces que les animaux ont laissées en se mouvant à la surface des roches, au moment où celles-ci étaient en voie de formation et, par conséquent, plus ou moins molles.

M. Hitchcock, géologue américain, a donné le nom d'*Ornithichnites* (ορνις, ορνιθος, oiseau; ιχνος, trace), aux traces de pas d'oiseaux. Celles qui s'observent dans les terrains les plus anciens ont été signalées par lui dans un grès rouge de la vallée du Connecticut (Massachusetts); on suppose que ce grès rouge appartient au terrain triasique. Les traces de pas pouvant être rapportées aux reptiles sont plus fréquentes que celles d'oiseaux. Les plus anciennes ont été observées dans le terrain dévonien de l'Angleterre et de l'Amérique du nord; les plus remarquables et les mieux connues ont été rencon-

trées dans les terrains permien et triasique; elles ont donné lieu à l'établissement du genre *cheirotherium* dont je parlerai plus tard. On cite, en Angleterre, dans le comté de Glocester, des traces de poisson fouillant la boue et, à Mostyn, des traces laissées par des poissons marcheurs voisins des siluroïdes.

On mentionne également des empreintes physiologiques produites par des animaux invertébrés, mais ces empreintes sont très rares et souvent d'une authenticité contestable. Des traces de pas de crustacés paraissent avoir été observées près de Bath et de Lyme Regis. Des empreintes d'annélides marins ont été plusieurs fois signalées dans le terrain silurien. Des sillons tracés dans le lias du comté de Glocester ont été indiqués comme laissés par des bivalves marchant.

Les ossements rencontrés dans le sol et les cavernes portent quelquefois des stries et des sillons que les hyènes et les animaux carnassiers ont produits en les rongeant; d'autres présentent des empreintes déterminées par le choc d'une flèche ou d'un instrument manié par la main de l'homme; il en est même qui offrent des dessins dénotant également l'action humaine. Toutes ces empreintes doivent être considérées comme fossiles lorsqu'elles datent d'une époque antérieure aux temps historiques.

Empreintes organiques. — Selon nous, cette désignation doit être affectée aux empreintes que les animaux ont laissées sur les roches et les corps sous marins, pendant qu'ils étaient en repos, ce qui établit une distinction entre elles et les empreintes physiologiques. Les *empreintes organiques* ont été produites pendant la vie de l'animal ou bien au moment même où il a cessé de vivre; c'est en cela qu'elles diffèrent des moules intérieurs ou extérieurs qui ne se sont formés que pendant

l'acte de la fossilisation et, par conséquent, longtemps après la mort de l'animal. D'ailleurs, il faut le reconnaître, la distinction n'est pas toujours facile à établir entre les moules, les empreintes physiologiques et les empreintes organiques.

C'est sous la forme d'empreintes organiques que des animaux, dont le corps était dépourvu de parties dures, osseuses, testacées ou cornées, ont pu laisser quelques vagues témoignages de leur ancienne existence. De ce nombre sont notamment quelques annélides non tubicoles. On a trouvé à Solenhofen des empreintes circulaires composées de deux cercles concentriques très réguliers, sur les bords desquels sont huit rayons fréquemment groupés deux à deux; on les attribue provisoirement à des méduses du genre *Œquorea* (1). Les schistes de cette même localité ont fourni une empreinte du corps et des bras d'un *Acanthoteuthis*, genre voisin des calmars. C'est dans les mêmes schistes que l'on a recueilli des empreintes de l'animal auquel appartenait la bélemnite.

On rencontre fréquemment, dans les strates sédimentaires, des coquilles, des coraux, des morceaux de bois, portant des perforations creusées par des animaux marins. Ces perforations, qui se présentent également sur les strates elles mêmes, sont en relation, par leur forme et leur étendue, avec les animaux qui, en les produisant, ont laissé en elles des témoignages de leur existence passée. Elles constituent des fossiles, et ces fossiles me paraissent pouvoir être rangés dans la catégorie des empreintes organiques; je vais en dire quelques mots dans le paragraphe suivant.

Animaux perforants. — Les animaux, que leur instinct pousse

(1) On sait que le corps des méduses est en totalité gélatineux, quelquefois même diaphane.

à se creuser des cavités dans les bois et dans les roches de toute nature, les gneiss, les grès, les basaltes et principalement les calcaires, y passent toute leur existence; ils les agrandissent à mesure que leur corps acquiert plus de développement. Les naturalistes ne sont pas d'accord sur les moyens que les animaux perforants mettent en œuvre pour se creuser leur demeure. Les uns pensent que ces animaux usent les parois des cavités qu'ils habitent en exerçant une action mécanique au moyen soit d'un de leurs organes charnus, soit de leur coquille ou de leurs organes tégumentaires. D'autres tiennent compte de ce que les parois de ces cavités sont généralement lisses et ne reproduisent pas les ornements qui, parfois assez nombreux et délicats, se montrent à l'extérieur de la coquille des animaux perforants; ces cavités sont d'ailleurs assez grandes pour que ceux-ci puissent s'y mouvoir avec facilité; on en conclut que ces animaux parviennent à établir et à agrandir leur demeure, en exerçant une action dissolvante au moyen d'un suc sécrété par eux (1). La nature de cette sécrétion n'est pas connue, mais plusieurs savants ne seraient pas éloignés de penser qu'elle n'est autre que l'acide carbonique qui résulte de la respiration, et qui est susceptible d'exercer une action même sur les roches silicatées, telles que le granite et le gneiss (2). C'est cette dernière opinion que je crois devoir adopter, tout en pensant que, dans certains cas et

(1) Les apothécies ou organes de reproduction des lichens, malgré la délicatesse de leur tissu entièrement cellulaire, et bien que dépourvus de la faculté de se mouvoir, laissent une empreinte sur les roches calcaires où ont vécu les lichens auxquels elles appartenaient.

(2) Nous avons vu (tome II, page 266), que les roches silicatées, le granite par exemple, n'étaient pas à l'abri de l'action décomposante exercée par l'acide carbonique.

pour certaines espèces, les organes de l'animal perforant peuvent seconder et rendre plus complets les effets de l'action chimique de la substance qu'ils sécrètent.

Les mollusques perforants font partie du groupe des lamellibranches orthoconques dont la station est plus ou moins verticale; ils appartiennent aux mêmes genres que les mollusqnes qui vivent enfoncés dans le sable ou dans la vase. Quelques uns sont pourvus d'un long tube au moyen duquel ils se mettent en relation avec le milieu qui les environne; une sécrétion calcaire tapisse alors la cavité où le tube est logé. Les mollusques perforants et tubicoles appartiennent aux deux genres *Gastrochœna* (gastrochène), dont les espèces s'enfoncent dans les sables ou les pierres tendres, et *Teredo* (taret), dont les espèces vivent dans le bois. Les tarets rongent le bois des navires et des digues; ils occasionnent de grands dégâts dans les constructions maritimes. Lorsqu'ils se sont fixés sur des morceaux de bois flottant, ils mènent une existence nomade qui active leur propagation. Les genres *Pholas* (Pholade), *Saxicava* (Saxicave), *Venerupis* (Vénérupe), *Coralliophaga* (coralliophage) et *Lithodomus* ou *Lithophaga* (lithodome ou lithophage), portent des noms qui indiquent leurs habitudes. Les espèces dont ils se composent n'ont pas de tube allongé comme les gastrochènes et les tarets; elles vivent quelquefois dans le bois, mais plus fréquemment dans l'argile durcie, les rochers, les pierres, les coraux, le test des grosses coquilles.

Quelques autres animaux marins, appartenant à une autre classe que celle des lamellibranches, ont l'habitude de perforer et d'user le bois et la pierre. L'*Echinus lividus* vit dans la Méditerranée et dans l'Océan, mais ce n'est que sur les côtes de l'Océan qu'il se creuse des cavités pour s'y abriter. Je citerai encore, comme étant perforantes, diverses espèces d'an-

nélides et une limnorie, la *Limnoria terebrans*, petit crustacé qui ne vit pas sur nos côtes, mais qui occasionne de nombreux dégâts sur celles de la Grande Bretagne (1). On avait supposé des habitudes perforantes à des éponges du genre *Clione;* mais on a reconnu qu'elles ne faisaient que s'installer dans les cavités sinueuses que de petits annélides creusent dans les pierres et dans les coquilles d'huîtres, même vivantes.

Empreintes physiques. — On donne au mot fossile employé comme adjectif une signification plus étendue que lorsqu'on s'en sert comme substantif. Joint à un autre mot, il sert à désigner les témoignages d'anciens phénomènes ou événements géologiques. C'est à ce titre que les cailloux striés et rayés ont été appelés les *fossiles des glaciers;* on peut donner la même désignation à toutes les traces que ces glaciers ont laissées de leur passage et se trouver insensiblement conduit à accorder l'épithète de fossiles aux moraines des anciens glaciers. Les silex taillés en couteau et tous les débris de l'industrie humaine sont également fossiles, au moins lorsqu'ils remontent à une période antérieure à la dernière extension des glaciers.

On connaît également des *forêts fossiles.* « Près de Wolverhampton, dans le Straffordshire méridional, on a mis à découvert, en 1844, sur une surface de quelques centaines de mètres, une couche de houille qui a fourni plus de soixante treize troncs d'arbres garnis encore de leurs racines; quelques uns de ces troncs mesuraient près de 3 mètres de circonférence. Brisés près de la racine, ils étaient couchés dans toutes

(1) Cette limnorie a été aperçue pour la première fois lors de la construction du phare de Bell-Rock ; la charpente provisoire, fixée au rocher et baignée par la mer, fut, dans une seule saison, criblée de trous que ce crustacé avait creusés.

les directions, se croisant souvent les uns les autres. Leurs racines formaient en partie une couche de houille, reposant sur un lit d'argile, au dessous duquel était une seconde forêt superposée à une autre bande de houille; plus bas, existait une troisième forêt, avec de gros troncs de lepidodendrons, calamites et autres arbres. » (Lyell, *Manuel de Géologie.*) Il existe, auprès du Caire, une forêt fossile formée d'arbres couchés dans toutes les positions et sans direction déterminée. Quelques uns ont 40 à 50 pieds de longueur et un à deux pieds de diamètre; ils ne sont pas entiers, et semblent avoir été renversés par des vents violents; tous sont silicifiés; le désert que traverse le chemin du Caire à Suez en est parsemé (1).

Si, en déblayant le sol, on parvenait à trouver la trace d'un ancien cours d'eau, on conçoit aussi que l'idée de donner à son lit comblé le nom de *rivière fossile* pourrait venir à l'esprit. On ne voit pas, lorsqu'on est engagé dans cette voie, la limite qui devrait être donnée à l'emploi du mot fossile; cette limite, il appartient à l'usage seul de la fixer.

On connaît actuellement d'assez nombreux exemples de *gouttes de pluie fossiles* (en anglais *rain drops*); comme dans toutes les empreintes analogues, elles sont en creux sur une plaque, et en relief sur l'autre. Il y a quelques années, on a découvert, à Shrewsbury (Angleterre), des plaques de grès du terrain permien qui portaient des empreintes de gouttes d'eau produites dans trois circonstances différentes : sur un point, les empreintes étaient hémisphériques et avaient été formées par une pluie tranquille; sur un autre point elles

(1) J'ai déjà mentionné (tome I, page 339) un autre exemple de forêt fossile. Les strates de presque tous les terrains offrent des vestiges d'anciennes forêts. Dans les bassins houillers, un grand nombre de bancs de combustible présentent à leur partie inférieure des racines qui se trouvent en place et dont les troncs ont concouru à la formation de la houille.

étaient larges et sans profondeur et devaient être le résultat d'une pluie d'orage à grosses gouttes; ailleurs, enfin, elles se dirigeaient dans un sens oblique, comme si la pluie avait été accompagnée d'un vent plus ou moins violent : l'obliquité de ces gouttes pouvait même conduire à reconnaître dans quel sens soufflait ce *vent* pour ainsi dire *fossile*.

On a également constaté, à la surface des dalles de plusieurs terrains, de véritables *ondulations* (*ripples marks*) déterminées par le mouvement des vagues sur un fond de sable et sur la surface des plages sablonneuses où les vagues sont poussées.

Je ne prolongerai pas ces citations qui ont surtout pour but de montrer comment le géologue, en se laissant guider par une saine critique et en recourant à sa perspicacité, peut parvenir à retrouver la trace de ce qui s'est passé dans les temps les plus reculés. Je me bornerai à transcrire ici les remarques faites par Alc. d'Orbigny sur la manière dont se produisent ordinairement un grand nombre d'empreintes physiques.

« Nous avons obtenu, dans le golfe de l'Aiguillon, la preuve que les corps en apparence les plus fugaces, et de la décomposition la plus prompte, peuvent encore imprimer des traces de leur existence sur les sédiments fins des plages tranquilles et vaseuses. En été, un grand nombre d'acalèphes sont jetés sur les côtes. Ceux qui entrent dans ce golfe, avec les dernières très hautes marées d'une époque de syzygies ou d'équinoxe, sont abandonnés sur la vase molle. Si la marée, pendant les mortes eaux, n'atteint pas le lieu où l'acalèphe est déposé, il se décompose d'abord, se fond entièrement, en laissant, en creux sur la vase, l'empreinte bien distincte de toutes ses parties. Pendant douze, quelquefois vingt quatre jours d'intervalle et même beaucoup plus, la marée suivante n'est pas aussi forte que la première; si elle n'est pas poussé par le vent, la vase,

exposée à l'air, se dessèche au soleil, en conservant toutes les empreintes de sa surface. Lorsque la marée couvre enfin ces plages de vase, en apportant de nouveaux sédiments, elle passe à la surface durcie, sans détruire les empreintes et revêt le tout d'une nouvelle couche. Il résulte évidemment de ce mode de dépôt que, si les plages vaseuses de l'Aiguillon (Vendée) devenaient fossiles, elles pourraient conserver, entre les couches, non seulement les animaux entiers tels que mammifères, oiseaux, reptiles, poissons, crustacés, insectes, mollusques, les empreintes des animaux gélatineux, tels que les acalèphes, mais encore les empreintes physiologiques des animaux qui ont marché, et même jusqu'aux fortes gouttes de pluie, dont nous avons souvent observé la trace sur les vases sèches. On voit que cette plage tranquille nous explique, à la fois, le mode de conservation des parties animales les plus faciles à se décomposer, et nous indique comment ont pu se conserver jusqu'à nos jours les empreintes physiologiques et les empreintes physiques qui ont tant étonné les géologues, lorsqu'ils les ont découvertes dans les couches terrestres. »

Gisements de fossiles. — Les fossiles ont deux sortes de gisements. Les uns sont contenus dans les strates, toujours plus ou moins régulières, déposées au sein des eaux marines ou lacustres. Les autres se rencontrent dans les formations terrestres, les terrains de transport et les cavernes à ossements. Ces deux sortes de gisements diffèrent non seulement par leurs caractères géognostiques, mais aussi par l'époque où ils se sont constitués et par les animaux dont ils renferment les débris. Les gisements dépendant des formations marines datent des temps antérieurs à l'ère jovienne; ceux d'entre eux qui correspondent à cette période ne sont pas encore émergés et se

dérobent à notre observation. On comprend d'ailleurs pourquoi, dans ces gisements, les débris d'animaux aquatiques sont bien plus abondants que ceux d'animaux à respiration aérienne.

Les gisements dépendant des formations terrestres sont spéciaux à l'ère jovienne; ceux qui existaient antérieurement ont été détruits par les agents d'érosion et sont pour nous comme non avenus. Le milieu où ces gisements se sont constitués explique pourquoi ils ne renferment jamais d'animaux marins et comment les débris de vertébrés y sont incomparablement plus nombreux que ceux d'invertébrés.

Conditions qui ont présidé à l'enfouissement des vertébrés dans les strates marines. — Il est inutile d'insister pour démontrer comment les débris d'animaux à respiration aquatique se montrent, dans les strates marines, bien plus abondants et bien mieux conservés que les restes d'animaux à respiration aérienne. Les uns se sont fossilisés dans le milieu et, quelquefois même, sur la place où ils ont vécu, tandis que les autres ont dû, avant de passer à l'état de fossile, subir un charriage toujours peu favorable à leur conservation.

Cette rareté relative des débris d'animaux à respiration aérienne est surtout très sensible pour les oiseaux et tient chez eux à diverses causes que je vais indiquer. Les oiseaux n'ont apparu en grand nombre qu'à une époque assez récente; il n'est pas étonnant que les strates anciennes ne possèdent presque pas de débris des animaux qui n'existaient pas ou étaient très rares à l'époque où elles se déposaient. C'est surtout pendant les crûes des rivières que les animaux terrestres sont détruits et entraînés vers l'océan; mais les oiseaux se mettent aisément à l'abri des inondations. S'ils sont saisis par un cours d'eau, leur corps, à cause de sa légèreté, flotte pen-

dant très longtemps et finit par devenir la proie des poissons ou des animaux carnassiers qui vivent dans l'eau. Enfin, la fragilité de leur tissu osseux doit être mise au nombre des circonstances défavorables à leur fossilisation.

La rareté des débris de mammifères dans les strates marines s'explique en partie de la même manière que pour les oiseaux. Les mammifères ne se sont montrés en abondance, à la surface du globe, qu'à une époque assez moderne. Mais les autres circonstances que nous avons invoquées pour rendre compte de la rareté des débris d'oiseaux à l'état fossile ne se sont pas présentées pour les mammifères; ceux-ci ont toujours été plus exposés à devenir les victimes des inondations; leurs os ont, d'ailleurs, un plus fort volume et un tissu plus résistant que ceux des oiseaux. Aussi, existe-t-il des gisements qui peuvent être considérés comme de véritables ossuaires à cause de la quantité de restes de mammifères qu'on y a recueillis. Ces restes y ont été entraînés par des fleuves et des rivières qui parcouraient des contrées fertiles, habitées par de nombreux animaux.

Parmi les localités que leur richesse en débris d'animaux terrestres a rendues célèbres, je citerai d'abord Montmartre, dont les bancs de gypse, dépendant du terrain éocène supérieur, ont fourni à Cuvier tous les matériaux que son génie a su si bien mettre en œuvre. Le rapprochement sur le même point du gypse et des ossements de mammifères est, du reste, tout à fait accidentel. On a pensé, à tort selon nous, que la mort de ces mammifères et, par suite, leur accumulation dans le même gisement, avaient été occasionnées par les émanations d'acide sulfurique qui accompagnaient le jaillissement des sources amenant le sulfate de chaux. Tout au plus, peut-on être porté à croire que les eaux chargées de ces émanations avaient tenu à distance les animaux peuplant le lac où se dépo-

sait le gypse de Montmartre. Ces animaux n'ont pu ainsi se nourrir des dépouilles charriées par les courants.

Parmi les autres gisements de mammifères, je mentionnerai celui de Sansan, dans le Gers, qui dépend du terrain miocène et que M. Lartet a exploré avec tant de succès. Les débris qu'on y a recueillis ont été charriés par les courants descendant des Pyrénées et se dirigeant vers un lac qui occupait une partie du sud ouest de la France. Je mentionnerai encore les sables marins pliocènes sur lesquels la ville de Montpellier est bâtie ; ces sables ont fourni d'abondants débris qui ont été étudiés en majeure partie par M. Paul Gervais.

Quant aux circonstances qui ont accompagné l'enfouissement des poissons, je me bornerai à rappeler l'hypothèse qu'on a émise pour expliquer l'abondance de leurs débris dans certains gisements. A Monte Bolca, les poissons sont disposés parallèlement aux feuillets d'un calcaire schistoïde ; ils sont toujours entiers et si pressés les uns contre les autres qu'on en trouve souvent plusieurs dans un seul bloc ; les milliers d'échantillons, répartis dans les divers cabinets de l'Europe, et provenant de cette localité, ont été presque tous extraits d'une seule carrière. « Tous ces poissons, » dit Buckland, « doivent avoir péri subitement sur ce point fatal et y avoir été couverts en peu de temps par le sédiment calcaire alors en voie de se déposer. Et cet autre fait que quelques individus ont conservé jusqu'à des traces de la couleur de leurs téguments nous donne la certitude qu'ils ont été complétement ensevelis avant même que la décomposition eut attaqué leurs parties molles. M. Agassiz pense que les individus innombrables que l'on trouve à Torre d'Orlando, près de Castellamare, dans le calcaire jurassique, appartiennent tous à une espèce du genre *Tetragonolepis ;* tout un banc de ces poissons paraît avoir été détruit

instantanément, et sur un seul point où les eaux avaient été soit imprégnées de quelque émanation nuisible, soit élevées à une température inaccoutumée. Beaucoup de poissons que l'on trouve dans les schistes cuivro-bitumineux de Mansfeld (Thuringe) offrent des attitudes contorsionnées que l'on regarde comme dues aux convulsions de l'agonie. Ces poissons fossiles ayant conservé la raideur qui suit immédiatement la mort, il est évident qu'ils ont dû être ensevelis avant que la putréfaction eût commencé, et, selon toute apparence, dans la même boue cuivro-bitumineuse dont l'action les a fait périr. »

Gisements des invertébrés dans les strates marines. — Au fond de l'océan, les animaux vivent en plus grand nombre sur les fonds vaseux que sur les fonds calcaires, et sur les fonds calcaires que sur les fonds de sable. Aussi, les fossiles sont-ils plus abondants dans les roches marneuses et argileuses que dans les roches calcaires, et dans les roches calcaires que dans les grès et les roches détritiques à éléments plus ou moins grossiers. D'ailleurs, en énonçant ces faits généraux, je dois ajouter qu'ils sont sujets à de fréquentes exceptions.

Diverses circonstances permettent encore de s'expliquer pourquoi certaines roches se montrent très riches et d'autres très pauvres en fossiles. Les roches calcaires renferment moins de débris de corps organisés parce qu'elles se sont ordinairement déposées loin des côtes, c'est à dire dans les zones où les êtres organisés sont moins nombreux. D'un autre côté, les grès et les conglomérats sont relativement pauvres en fossiles parce que les courants, qui ont charrié les détritus dont ils se composent, ont transporté à de plus grandes distances et déposé sur des points distincts les débris de corps organisés toujours plus légers que les fragments de roches ayant le même

volume qu'eux. D'autres causes ont contribué à rendre les grès et les conglomérats moins fossilifères que les autres roches; le mouvement des eaux, en agitant et en frottant les cailloux siliceux et les grains de sable contre les débris de corps organisés, toujours moins durs, ont fréquemment amené la destruction de ceux-ci. Lorsque des débris de corps organisés se sont trouvés engagés dans un grès ou conglomérat siliceux, la différence de composition chimique a souvent amené la résorption du carbonate de chaux de cet os ou de cette coquille dans toute la masse de la roche (*antè*, page 14).

Le dépôt d'une strate est un phénomène continu et d'une durée limitée. Pendant que ce dépôt s'effectue, le nombre des débris englobés par la roche en voie de formation doit donc être peu considérable. D'un autre côté, une strate est toujours séparée de celle qu'elle recouvre ou qu'elle supporte par un plan de stratification qui correspond à un intervalle de repos dans l'acte de la sédimentation. Pendant cet intervalle, dont la durée peut être très longue, des générations d'êtres organisés ayant vécu sur place ou provenant de localités voisines, se succèdent en laissant leurs dépouilles après elles. Ce que je viens de rappeler explique pourquoi les fossiles sont toujours plus nombreux à la surface que dans l'intérieur des strates.

Le géologue, lorsqu'il explore un terrain au point de vue paléontologique, doit se tenir en garde contre deux chances d'erreur qui peuvent le conduire à se tromper soit sur l'âge d'une couche, soit sur le véritable horizon auquel une espèce doit être rapportée : ces deux causes d'erreur sont les « fossiles non en place » et les « fossiles remaniés. »

Les talus ou abruptes, lorsqu'ils atteignent une certaine élévation, résultent de la superposition d'assises ayant chacune une faune souvent distincte. Mais leurs fossiles sont confondus sur

le flanc du talus ou à sa base. Chacun de ces fossiles, à mesure qu'il se dégage de sa guangue, roule dans le sens de la déclivité du sol et s'arrête sur des points qui ne correspondent plus à son véritable horizon paléontologique. Par conséquent, chaque fois que l'on recueille un fossile, on doit s'assurer s'il est dans son gisement primitif.

Les fossiles proviennent presque toujours d'animaux ayant vécu pendant l'époque où les strates qui les renferment se constituaient. Mais, quelquefois, ils peuvent être entraînés pêle mêle avec les débris des roches qui les contiennent, et s'engager dans des strates en voie de formation; celles-ci reçoivent ainsi des débris d'animaux ayant appartenu à des époques anciennes. En un mot, ces strates montrent des fossiles remaniés (1). Le déplacement des fossiles s'effectue dans des conditions telles que les exemples de fossiles remaniés sont rares. S'ils ont été soumis longtemps à l'influence des agents de transport, ceux-ci ont fini par les user et les détruire complétement, surtout lorsque ces fossiles n'étaient pas de nature siliceuse (tome I, page 357). Le géologue est d'ailleurs prévenu que les fossiles recueillis par lui ont été remaniés, lorsqu'il y a, pour ainsi dire, incompatibilité entre les espèces auxquelles ces fossiles appartiennent et l'âge des terrains où ils ont été rencontrés. En outre, ces fossiles portent en eux mêmes les traces d'un remaniement; ils sont roulés et fortement usés; enfin, leur composition pétrologique contraste

(1) Les productus du terrain carbonifère ont été trouvés avec les coquilles fossiles de l'étage contemporain en Russie. Les fossiles albiens de Clansayes (Drôme), composés d'une roche chloritée très compacte, sont remaniés dans un sable rouge appartenant à l'étage falunien. Les bélemnites et les ammonites du lias sont remaniées dans les couches tertiaires d'Osnabruck et de Cassel; elles le sont avec les coquilles de l'époque actuelle, à Banff, en Ecosse, etc. (Alc. d'Orbigny, *Paléontologie stratigraphique*).

avec celle de la roche où ils ont été reçus après avoir abandonné leur gisement primitif.

Nous avons vu qu'il existe à la base de la série des terrains sédimentaires un groupe de strates, dites *azoïques*, où les fossiles manquent d'une manière absolue. Plus haut, les terrains sont toujours plus ou moins *fossilifères*, mais ne se montrent pas également riches en débris de corps organisés. Cette rareté de fossiles dans certains terrains, tels que le grès bigarré et les marnes irisées, semble, au premier abord, tenir à un ralentissement des forces vitales; mais je crois plutôt qu'elle doit être attribuée à la nature des roches qui font partie du terrain triasique. Ces roches sont : les unes, des grès et des conglomérats qui, je viens de le dire, se prêtent peu à la conservation des débris de corps organisés; — les autres, des marnes et des argiles accusant, par leur composition chimique et leurs nuances plus ou moins vives, une action geysérienne très énergique; ces roches se sont déposées dans des eaux tenant en dissolution ou en suspension des substances qui les rendaient impropres à la vie.

Certains gisements de fossiles ont acquis une grande célébrité à cause de la variété, de l'abondance et surtout de la parfaite conservation des débris de corps organisés qu'on y a recueillis. Tels sont ceux de Lime Regis (Angleterre), dans le lias; de Solenhofen (Bavière), dans le terrain corallien; de Monte Bolca (Italie septentrionale), dans le terrain tertiaire inférieur, etc. Les gisements que je viens de nommer appartiennent à des formations marines. Les gisements d'Aix (Provence), dans le terrain éocène supérieur, d'Œningen (Suisse), dans le terrain pliocène, etc., se rattachent à des formations lacustres. Ce que j'ai dit, à propos des terrains lacustres (voir tome I, page 584), pour rendre compte de la parfaite conser-

vation des débris de corps organisés qu'ils renferment, est applicable aux strates marines qui ont été reçues soit dans des estuaires, soit dans des golfes profonds, abrités contre les vents par divers accidents de terrain.

Gisements dans les formations terrestres. — J'ai dit que ces gisements, spéciaux à l'ère jovienne et riches surtout en débris de mammifères, étaient les *cavernes à ossements,* les *terrains de transport,* les formations terrestres, telles que le *tuf,* et les *tourbières.*

Les mammifères de l'ère jovienne ont laissé des débris assez abondants dans les alluvions qui ont comblé en partie les vallées, et qui sont désignées sous le nom d'*alluvions anciennes à ossements.* Lorsque ces alluvions accusent, par le volume de leurs éléments, un transport violent, les ossements qu'on y rencontre sont fréquemment séparés les uns des autres. Mais lorsque ces éléments sont à l'état de limon ou d'argile, ainsi que cela s'observe pour le lehm du Rhin, les pampas de l'Amérique méridionale, etc., les squelettes sont fréquemment entiers. Parmi les terrains de transport que leur richesse en ossements ou diverses particularités ont rendus célèbres, je citerai les alluvions du val d'Arno, en Toscane, et les alluvions de Perrier, en Auvergne; celles-ci ont fourni la trace la plus ancienne de l'existence de l'homme à la surface du globe.

Les ossements humains et les débris de l'industrie de l'homme se rencontrent fréquemment, dans les cavernes à ossements et dans les brèches osseuses, avec des restes d'animaux ayant appartenu à des espèces anéanties. Les cavernes à ossements et les brèches osseuses ont attiré déjà notre attention (voir tome I, page 341 et suivantes).

Les tourbières renferment souvent des débris d'animaux

dont j'indiquerai plus tard le mode d'enfouissement et de conservation (voir livre XI, chap. II). C'est aussi dans les tourbières, ainsi que dans les amas de tuf, qu'ont été recueillis presque tous les débris de végétaux qui ont servi à reconstituer la flore de l'ère jovienne.

Fossiles du succin. — Un gisement très remarquable par la parfaite conservation et la délicatesse des débris de corps organisés qu'il contient, est le *succin* ou *résine fossile*, que l'on recueille sur les côtes méridionales de la Baltique, en Prusse, où il est rejeté par cette mer, entre Kœnisberg et Memel. La drague en retire des fragments encore adhérents aux arbres faisant partie d'un gisement de lignite mis à découvert au fond de la Baltique.

Ce succin est le produit de plusieurs arbres résineux dont les espèces sont perdues et notamment de celle que l'on a nommée *Pinites succinifer*. Il a jadis coulé sur les troncs de ces arbres, lorsqu'ils formaient des forêts, en englobant, pendant qu'il conservait son état visqueux, des débris de végétaux et des insectes dont tous les organes, même les plus fragiles, ont persisté. On prétend que le cabinet d'histoire naturelle d'Upsal possède un morceau de succin qui renferme dans son intérieur une corolle parfaitement conservée. M. Gœppert, qui a étudié avec soin la faune et la flore du succin, y signale des enveloppes de phryganes, des larves d'insectes, des poils de mammifères, une plume d'oiseau, plusieurs espèces de mousses, des moisissures développées sur des insectes, des châtons de cyprès, de chêne, d'aulne, des grains de pollen, etc.

CHAPITRE IV.

DISTRIBUTION DES FOSSILES DANS LES STRATES. — FACIÈS DES TERRAINS.

Distribution des êtres organisés à la surface du globe — Manière de vivre des animaux marins. — Principales causes qui influent sur l'habitat de ces animaux; éloignement ou voisinage des côtes; température des eaux variant avec la profondeur et la distance relativement à l'équateur; nature du sol, fonds calcaire, de sable, de vase, etc.; agitation des eaux; configuration des côtes. — Influence de la profondeur sur la répartition des animaux marins. — Zones littorale, pélagienne, thalassique. — Changements des faciès dans le sens horizontal pour un même terrain. — Principaux faciès du terrain jurassique : faciès corallien, vaseux, de charriage, thalassique. — Travaux de M. Gressly. — Changements des faciès dans le sens vertical.

Distribution des êtres organisés à la surface du globe. — Un voyageur, qui parcourrait dans tous les sens la surface de notre planète, verrait des changements incessants se produire autour de lui. A chaque étape, il assisterait à des modifications dans l'aspect du ciel, dans le climat, dans la configuration et la nature du sol; il constaterait que ces modifications en amènent d'autres dans la faune et la flore de chaque région; il reconnaîtrait, enfin, qu'il existe presque toujours une relation directe entre le mode de distribution des êtres organisés et les diverses circonstances qui caractérisent chaque localité (1).

(1) En lisant les considérations qui vont faire l'objet de ce chapitre, le lecteur devra avoir présent à l'esprit ce qui a été dit dans le chapitre VI du livre IV. Certains faits vont de nouveau attirer notre attention; mais nous aurons à les apprécier cette fois en nous plaçant à un point de vue plutôt paléontologique que géognostique.

Si, ensuite, il était donné à ce voyageur d'explorer le sol sous marin, il y constaterait une succession de changements analogues à ceux dont il aurait été le témoin sur le sol émergé. Des variations dans la profondeur, dans la température et l'agitation plus ou moins grande des eaux, dans la nature du fond qui pourrait être sableux, vaseux ou calcaire, dans l'éloignement et le rapprochement des côtes, etc., amèneraient, dans les divers organismes, des variations correspondantes. Une étude suivie finirait par le mettre en état de prévoir ces changements et d'en indiquer les causes. Lorsqu'il verrait la profondeur de l'océan augmenter ou diminuer, le sol changer de nature, les eaux devenir plus tranquilles ou plus agitées, il saurait à l'avance quels sont les genres et les espèces qui seraient sur le point de se présenter à lui; réciproquement, l'apparition de certains organismes le préviendrait des changements survenus dans la profondeur des eaux, la nature du sol, le voisinage des côtes, etc.

Une fois familiarisé avec la connaissance des relations existant entre les êtres organisés et leur habitat, il serait à même d'explorer avec fruit les strates qui composent l'écorce terrestre et dont chacune a été le fond d'une ancienne mer. Abordant ensuite un travail, en quelque sorte inverse de celui auquel il s'était livré, il étudierait les fossiles d'un terrain afin d'en déduire les diverses circonstances qui ont accompagné sa formation. L'ensemble des débris de corps organisés qu'il y rencontrerait le renseignerait sur la profondeur à laquelle ce terrain s'est déposé, sur l'agitation plus ou moins grande des eaux qui le recouvraient au moment de son dépôt, sur la distance qui le séparait des côtes, etc.

L'étude parallélique du mode de répartition des animaux marins et des divers habitats de l'océan est donc de la plus

haute importance pour la géologie. Je regrette que la nature de cet ouvrage ne me permette pas de lui consacrer plus d'un chapitre. Je devrai me borner à rappeler quelques faits généraux qui suffiront, je l'espère, pour donner une idée des méthodes employées par le paléontologiste stratigraphe.

Manière de vivre des animaux marins (1). — Les céphalopodes se meuvent en respirant et en rejetant alternativement l'eau à la faveur de leur tube locomoteur. Ils nagent ainsi avec une grande rapidité : quelquefois ils ne calculent pas la portée de leur élan et on les voit alors s'élancer dans les airs ou s'échouer sur la grève. Ce mode de locomotion leur impose la nécessité de marcher à reculons. « Ceux d'entre eux qui vivent constamment au milieu des mers ne sont pas exposés à trouver d'obstacle dans leur marche rétrograde; aussi leur osselet est-il entièrement corné, comme celui des ommastrèphes, etc., qui ne s'approchent que fortuitement des côtes; mais lorsque ces animaux vivent le long du littoral, ils sont exposés à rencontrer fréquemment des obstacles qui pourraient les blesser et la nature les a pourvus d'une partie protectrice qui est le rostre, destiné à résister au choc sur des corps durs et à garantir l'animal de toute blessure. Défini par cette fonction, le rostre nous donne des résultats très utiles, comme application aux fossiles, sur les animaux qui en sont pourvus. Le seul genre muni de rostre, parmi ceux qui vivent actuellement, est la seiche. La seiche est, sans contredit, le céphalopode le plus côtier. D'un autre côté, on n'a pas vu de rostre parmi les

(1) Dans le courant de ce chapitre, j'aurai surtout en vue les invertébrés marins; ce sont leurs débris que l'on rencontre le plus fréquemment dans les strates, et c'est avec raison que M. Leymerie appelle les coquilles des mollusques la monnaie courante de la géologie.

genres des céphalopodes de haute mer, comme l'ommastrèphe, l'onychoteuthe, etc. Le rostre dénoterait donc souvent un animal côtier. » (Alc. d'Orbigny.)

Le tube locomoteur existe et fonctionne également dans les deux genres de céphalopodes qui vivent actuellement et qui sont pourvus d'une coquille externe; ces deux genres sont l'argonaute et le nautile. Il en était probablement de même pour les ammonites et tous les céphalopodes acétabulifères. Cette coquille externe a pour fonction, lorsqu'elle est formée de plusieurs loges aériennes, comme chez le nautile, les ammonites, etc., de servir d'allége à l'animal qui l'habite; aussi voit-on les loges aériennes devenir plus grandes et plus nombreuses à mesure que le corps de l'animal prend plus de développement. Le nautile et l'argonaute peuvent en outre voguer à la surface des eaux au moyen de leur coquille comparable à un bateau et en se servant de leurs bras en guise de rames ou de nageoires; on sait quelles brillantes fictions l'argonaute avait inspirées aux poètes de l'antiquité. Jadis, les ammonites, comme les nautiles de notre époque, voguaient vers la haute mer, en légions innombrables; elles s'éloignaient du rivage où leur coquille, très mince et très délicate, était exposée à se briser contre les rochers.

Rappelons encore deux traits importants de l'organisation des céphalopodes : d'abord leur poche à encre que, dans le danger, ils vident en répandant autour d'eux son contenu pour s'entourer d'un nuage qui les dérobe à la poursuite de leur ennemi; — ensuite, les ventouses dont sont pourvus les huit ou dix tentacules charnus du poulpe, de la seiche, de l'argonaute et de tous les céphalopodes acétabulifères; ces ventouses leur permettent de saisir fortement les corps qu'ils peuvent embrasser ou même de se mouvoir sur les rochers placés au fond de l'eau.

Les ptéropodes et les méduses sont, avec les céphalopodes, à peu près les seuls invertébrés marins munis d'organes de locomotion leur permettant de nager à la surface ou dans la masse des eaux de l'océan; ils y jouent le rôle des oiseaux dans l'atmosphère aérienne. Les autres invertébrés marins se meuvent sur le sol sous marin avec plus ou moins de lenteur et quelquefois même y adhèrent d'une manière complète. Dans ce dernier cas, ils passent toute leur vie sur les points où, transportés à l'état de larve par le mouvement des eaux, ils se sont rencontrés lorsque la première période de leur existence allait se terminer.

Les gastéropodes rampent au fond de la mer ou sur les corps et les plantes qui s'y trouvent. Ils se meuvent à la faveur de leur pied, organe constitué par une lame musculaire à laquelle ils impriment des mouvements successifs de dilatation et de contraction.

L'organe de la locomotion, chez les lamellibranches, est une masse charnue, en forme de langue, quelquefois susceptible de s'allonger beaucoup. Ce pied leur sert à tracer un sillon sur le sol ou à s'enfoncer dans le sable ou la vase. Les bucardes ont un pied très long et coudé qui fonctionne comme un ressort et leur permet de s'élancer à une certaine distance. Les peignes et les limes ont un pied très petit, mais ils peuvent se déplacer par secousses en ouvrant et en fermant leurs valves à plusieurs reprises.

Les deux valves des lamellibranches sont rattachées entre elles par deux ou quatre muscles dont les mouvements ont pour but de les tenir ouvertes ou fermées suivant la volonté de l'animal qu'elles protégent. Les lamellibranches ont deux stations différentes en rapport l'une et l'autre avec la forme de leur coquille. Chez les mollusques *orthoconques* (ορθὸς, droit;

κογχος, coquille), l'animal a une station verticale ou peu oblique, les deux valves sont égales, la bouche est en bas et deux tubes, se dirigeant dans le sens opposé, servent, l'un à faire venir l'eau destinée à la respiration, l'autre à rejeter la matière fécale. Ces deux tubes prennent un grand développement lorsque l'animal vit enfoncé dans le sable et dans la vase ou lorsqu'il a des habitudes perforantes; ils contribuent alors à mettre le mollusque en relation avec la surface du sol. Chez les mollusques *pleuroconques* (πλευρα, côté; κογχος, coquille), la station est horizontale; les deux valves sont inégales; la bouche est d'un côté, l'anus est de l'autre.

Les échinodermes, lorsqu'ils ne sont pas fixés, rampent à la faveur de petits tentacules qui passent à travers les nombreuses ouvertures dont leur enveloppe est percée; ces tentacules, susceptibles de s'allonger ou de se raccourcir, se terminent par des ventouses.

Dans les rhizopodes, une ou plusieurs ouvertures laissent s'échapper des filaments contractiles, très allongés, plus ou moins ramifiés, servant à la reptation.

J'ai déjà parlé (*antè*, page 51) des mollusques et des animaux perforants que leur destinée retient toute leur vie dans les cavités où ils ont en quelque sorte élu domicile.

Les mollusques des genres *Pinna, Gervilia, Avicula*, etc., et quelques espèces des genres *Arca* et *Pecten*, sécrètent une substance cornée, élastique, disposée en filaments plus ou moins fins, qu'on nomme leur byssus (βυσσος, lin très fin). Ce byssus les retient fixés aux corps solides. Un grand nombre de brachiopodes, et notamment tous ceux de la famille des térébratules, adhèrent aux corps sous-marins au moyen d'un pédoncule musculaire qui passe à travers un trou pratiqué à l'extrémité de leur grande valve. Les cirrhipèdes de la famille

des anatifes sont également fixés par un pédoncule charnu aux rochers, aux bois flottants et aux cales des navires.

Pour compléter cette énumération des diverses manières de vivre des animaux ayant les eaux salées pour séjour, il me reste à rappeler que beaucoup d'entre eux sont fixés au sol sous marin; c'est un suc sécrété par l'animal qui établit une adhérence directe entre lui et l'objet à la surface duquel il est retenu. Je mentionnerai d'abord, comme vivant dans ces conditions, les balanes, parmi les cirrhipèdes, et les spirorbes, parmi les annélides tubicoles. Quant aux lamellibranches orthoconques, on ne cite, parmi eux, d'autres exemples de coquilles adhérant par leurs valves que quelques espèces perforantes. Les exemples de coquilles adhérentes sont surtout fournis par les lamellibranches pleuroconques; dans ce groupe, qui a l'huître pour type, l'animal, semblable en cela aux soles et aux poissons pleuronectes, est couché sur le côté; c'est la valve inférieure qui adhère aux corps sous marins et qui se moule quelquefois sur eux. Les brachiopodes nous montrent dans les *Thecidea* et les *Crania* des exemples de coquilles adhérentes; dans les rudistes, une des deux valves était également adhérente, soit par un de ses côtés, soit par son extrémité inférieure. Le genre *Hipponix* est le seul, parmi les gastéropodes, dont le corps est soudé directement aux corps sous marins : l'adhérence est établie par un support, en forme de fer à cheval, sécrété par le pied du mollusque; la coquille est conique, non spirale, et, lorsqu'elle est placée sur son support, ressemble à celle des bivalves sans charnière.

Les bryozoaires et presque tous les polypiers se soudent les uns aux autres de manière à constituer des espèces de colonies où la nourriture prise par chaque individu peut profiter aux individus voisins. Leur soudure, chez quelques espèces de

polypiers, est quelquefois telle que l'individualité finit par ne plus être reconnaissable. Les colonies, résultant ainsi de l'agrégation de nombreux individus, affectent quelquefois des formes arborescentes et sont fortement fixées au sol par une partie correspondant à la racine; d'autres fois, elles constituent des masses plus ou moins hémisphériques ou s'étendent en lames qui recouvrent les corps sous marins.

Les autres exemples d'animaux fixés par une adhérence directe au fond de la mer nous sont fournis par les spongiaires et par les crinoïdes. Aujourd'hui, les crinoïdes ne sont représentés que par un très petit nombre d'espèces (1); mais, pendant les périodes paléozoïque, triasique et jurassique, ils ont, par moments, habité en abondance les profondeurs de l'océan. Les individus de la même espèce vivaient fréquemment pressés les uns contre les autres, et, comme leur forme rappelait tout à fait celle d'un végétal avec ses racines, ses tiges et ses rameaux, leur réunion devait ressembler à une forêt sous marine d'arbres animés. Ces animaux avaient une structure qui imprimait à tout leur corps une certaine souplesse comparable à celle des troncs et des rameaux des arbres; ils étaient formés de pièces articulées qui se superposaient les unes aux autres comme les vertèbres et qui étaient renfermées dans une même gaîne tégumentaire.

Mollusques terrestres, fluviatiles et marins. — C'est par les fossiles que l'on reconnaît si une formation est d'origine terrestre, flu-

(1) Deux genres seulement représentent l'ordre des crinoïdes dans les mers actuelles: ce sont les genres *Pentacrinus* et *Comatula*. Le premier ne comprend qu'une seule espèce, le *Pentacrinus caput medusæ* qui vit dans les profondeurs de la mer des Antilles. Le second renferme un assez grand nombre d'espèces que l'on rencontre dans les mers de l'Europe, des Indes, etc., et qui cessent d'être fixées au sol lorsqu'elles ont dépassé le jeune âge; le *Pentacrinus europæus* n'est que le premier état d'une comatule.

viatile, lacustre ou marine. Je ne placerai pas ici la liste des genres spéciaux à chaque formation ; il me suffira de rappeler que, dans les trois embranchements des invertébrés, la totalité des radiaires, à peu près tous les mollusques et un grand nombre d'annelés sont aquatiques. Parmi les mollusques, on ne peut signaler, comme étant plus ou moins terrestres, que les genres suivants, qui appartiennent tous à la classe des gastéropodes et à l'ordre des pulmonés :

Limax, *Pupa* (maillot),
Parmacella, *Clausilia*,
Testacella, *Succinea* (ambrette),
Vitrina, *Auricula*,
Helix (escargot), *Cyclostoma*,
Lychnus, *Bulimus*.

Presque toutes les espèces aquatiques vivent dans les eaux marines ; il est même des classes entières, telles que les céphalopodes, les brachiopodes, les échinodermes, qui ne sont pas représentées dans les eaux douces. Voici l'énumération des genres de mollusques vivant dans les fleuves, les marais ou les lacs.

GASTÉROPODES.

Planorbis, *Valvata*,
Physa, *Paludina*,
Lymnœa, *Ampullaria*,
Ancylus, *Navicella*,
Melania, *Neritina*,
Melanopsis, *Potamis*.

LAMELLIBRANCHES.

Cyclas, *Unio* (mulette),
Cyrene, *Anodonta*,
Gnathodon, *Œtheria*.

Certains genres renferment à la fois des espèces d'eau douce et des espèces marines : c'est également à ces genres qu'appartiennent la plupart des espèces citées comme affectionnant les eaux saumâtres. Cette différence d'habitat, lorsqu'elle est accompagnée de quelques variations dans la forme des coquilles, a paru suffisante à quelques savants pour motiver le dédoublement des genres où elle s'observe. C'est ainsi que les genres lacustres ou fluviatiles *Ancylus, Neritina, Potamis, Ampullaria, Melania* ont été respectivement établis aux dépens des genres essentiellement marins *Siphonoria, Nerita, Cerithium, Natica, Rissoa*. Ces dédoublements ont fait l'objet de quelques critiques et n'ont pas toujours été admis ; mais ils doivent être adoptés par les géologues qui attachent, dans leurs recherches, une grande importance au milieu où vivent les animaux.

Les espèces d'eau douce ont ordinairement dans leur aspect quelque chose qui les distingue des espèces marines analogues. Leurs coquilles sont généralement moins épaisses et moins ornées. Les lamellibranches n'ont jamais deux impressions musculaires. Les gastéropodes, à l'exception du genre *Melanopsis*, ont toujours la bouche entière, c'est à dire dépourvue, sur son pourtour, de dentelures ou de canal.

Distribution des animaux marins; principales causes qui influent sur leur habitat. — Les animaux marins, après leur sortie de l'œuf, émigrent à l'état de larve ; puis, lorsqu'une nouvelle période de développement arrive pour eux, ils se fixent sur un point en relation avec leurs habitudes, leur régime et leur organisation ; ils périssent s'ils ne trouvent pas un milieu favorable à leur existence.

L'habitat des animaux marins dépend d'un grand nombre

de circonstances; je vais mentionner les principales d'entre elles.

Eloignement et voisinage des côtes. — Près des côtes, l'alimentation est plus facile qu'en pleine mer à cause des nombreux débris d'animaux que les fleuves apportent de l'intérieur des continents. C'est aussi non loin des côtes, et à une profondeur qui ne peut excéder 700 mètres, que les végétaux prennent tout leur développement et constituent ces prairies sous marines où se nourrissent les espèces herbivores, destinées à servir de pâture aux espèces carnassières. On peut dire que le long du littoral la vie appelle la vie. En même temps, les stations y sont plus variées et peuvent, par conséquent, s'adapter à un plus grand nombre d'organismes. La profondeur va sans cesse en croissant à mesure que l'on s'éloigne des côtes; elle devient de plus en plus une condition défavorable au développement des êtres organisés. Les animaux doués de puissants organes de locomotion peuvent seuls habiter la haute mer; encore se rapprochent-ils souvent des côtes afin de pourvoir à leur subsistance. On ne doit donc pas s'étonner si les êtres organisés se montrent de moins en moins nombreux à mesure que l'on s'éloigne de la zone littorale.

Température variant avec la latitude et la profondeur. — La température exerce une grande influence sur le mode de distribution des animaux marins de même que sur celui des animaux terrestres. Il en résulte que les organismes répandus dans les eaux océaniennes doivent varier à mesure que l'on s'éloigne de la surface de la mer pour se rapprocher du sol sous marin ou que l'on se dirige de l'équateur vers les pôles. Les changements d'espèces d'une latitude à l'autre ne doivent pas attirer ici notre attention; leur examen se rattache en effet à l'étude de la distribution géographique des animaux.

Nature du sol; configuration des côtes; agitation des eaux. — Ce que nous dirons à la fin de ce chapitre, sur les divers faciès des terrains, donnera une idée de l'influence exercée par la nature du sol sur l'aspect de chaque faune locale. Certaines espèces aiment les fonds vaseux; d'autres, les fonds de sable; d'autres, enfin, les calcaires et les roches solides. La configuration du sol, l'état des eaux constamment agitées ou toujours tranquilles sur certains points, diverses circonstances moins importantes influent également sur le mode de distribution des animaux marins.

Influence de la profondeur sur la répartition des animaux marins — C'est surtout la profondeur qui règle la répartition des animaux vivant dans l'océan (1). Remarquons d'abord qu'à mesure que la profondeur augmente, les circonstances deviennent de moins en moins favorables aux manifestations vitales. La température diminue de plus en plus et tend à se rapprocher du point où l'eau atteint son maximum de densité; c'est à 4° que l'eau est le plus dense; sa pesanteur spécifique diminue de nouveau à mesure que la température se rapproche du zéro de l'échelle thermométrique; il résulte de là que, dans certaines régions très profondes de l'océan, la température est peu supérieure à 0°. La lumière, que l'on considère également comme étant favorable au développement de la vie, s'affaiblit en même temps que la chaleur diminue, et l'on suppose qu'à une profondeur de 225 mètres, il règne une obscurité complète. La proportion d'oxygène dissous dans les eaux ne s'amoindrit pas à mesure que la profondeur aug-

(1) Dans les ouvrages spéciaux, on remplace l'expression « répartition d'après la profondeur » par celle-ci « distribution bathymétrique » (βαθος, profondeur; μετρον, mesure).

mente; elle paraît, au contraire, s'accroître; mais on peut penser que l'oxygène se renouvelle près de la surface de l'océan avec plus de facilité qu'à une certaine profondeur et que les eaux superficielles de la mer sont plus favorables à la respiration des animaux que les eaux profondes. Rappelons-nous, enfin, que la pression est d'autant plus forte que la profondeur est plus grande; à la distance de 2000 mètres de la surface de l'océan, les animaux ont à supporter une pression de plus de 200 atmosphères.

Là conclusion que l'on doit tirer des considérations précédentes, c'est que le nombre des êtres organisés diminue et se rapproche de plus en plus de zéro, à mesure que la profondeur augmente. On s'accorde à penser que la limite de la vie végétale se trouve à 700 mètres environ de profondeur. Ed. Forbes portait la limite de la vie animale à 500 mètres seulement; mais des observations récentes ont montré que des animaux peuvent être rencontrés à une distance plus grande de la surface des eaux océaniennes. Parmi ces observations, les plus intéressantes se trouvent consignées dans un mémoire de M. Alphonse Milne Edwards, dont je vais reproduire ici quelques passages à cause des déductions importantes auxquelles l'auteur se trouve conduit :

« Forbes, en pratiquant des draguages multipliés, d'abord dans la mer Egée, puis dans d'autres parages, avait trouvé que le nombre des animaux qui vivent au fond de la mer décroît très rapidement à mesure que la profondeur des eaux augmente. Ses recherches n'ont pas été étendues au delà d'une profondeur de 420 mètres environ; mais en raison de la loi de la décroissance qui semblait ressortir de ses observations, Forbes fut porté à croire qu'à une petite distance de cette limite extrême, il ne devait exister aucun être animé, et il en

conclût que l'absence de débris organiques dans un dépôt marin doit être considérée comme l'indice de la formation de ce dépôt au fond d'une mer très profonde. Les recherches faites plus récemment dans d'autres parages par Löven, Darwin, Dana et plusieurs autres naturalistes n'infirment en rien les conclusions de Forbes. Ainsi, Darwin cite, comme les derniers représentants des zoophytes trouvés dans les profondeurs de l'océan, un gorgonien recueilli sur les côtes du Brésil à 290 mètres et quelques petits bryozaires qu'il a lui même ramenés d'une profondeur de 346 mètres près du cap Horn. M. Dana a rencontré quelques caryophylliens à une profondeur de 364 mètres. Mais les observations récentes de M. Wallich prouvent que les limites assignées par Forbes à l'extension de la vie animale dans le sein des eaux sont trop restreintes ; car ce naturaliste a constaté la présence de deux annélides et de deux amphipodes à une profondeur de 800 mètres, et il cite des échinodermes comme pouvant vivre à une profondeur plus grande. Mais ces observations ne permettent de rien conclure touchant la présence de mollusques ou de coralliens vivant dans des conditions analogues, et ce sont précisément ces animaux marins dont le mode de distribution à la surface du globe a le plus d'importance pour la solution des questions géologiques. Il est donc intéressant d'avoir pu constater que des coraux et des mollusques sont susceptibles de vivre dans la Méditerranée à une profondeur de plus de 2000 mètres (1).

« Des fragments du cable électrique ayant été retirés d'une profondeur de 2000 à 2800 mètres entre Bone et Cagliari, on constata que plusieurs polypiers et diverses coquilles

(1) M. Torell, qui a dirigé une expédition scientifique suédoise au Spitzberg, signale des mollusques et des zoophytes ramenés de 2500 mètres de profondeur dans les mers polaires.

y étaient fixés. Les mollusques étaient l'*Ostrea cochlear*, le *Pecten opercularis*, le *Pecten testa*, le *Monodonta limbata* et le *Fusus lamellosus*. Quelques fragments de ce cable donnaient également attache à trois espèces de coralliaires, à une petite branche de bryozoaire, à quelques gorgoniens et à deux serpules tubicoles. Nous voyons qu'au fond d'une partie de la Méditerranée, où la profondeur de la mer varie entre 2000 et 2800 mètres, on trouve à l'état vivant un nombre assez considérable d'animaux dont les habitudes sont complétement sédentaires; que presque tous ces êtres appartiennent à des espèces réputées très rares ou qui avaient échappé jusqu'ici aux recherches des zoologistes; enfin, que quelques uns d'entre eux ne paraissent pas différer spécifiquement de certaines espèces fossiles dont les dépouilles sont enfouies dans les terrains tertiaires supérieurs du même bassin. Ces résultats ne paraissent pas dépourvus d'intérêt, ni pour la géologie, ni pour l'histoire naturelle des animaux invertébrés, et ils peuvent nous faire espérer qu'une exploration plus complète des profondeurs de la mer fera découvrir dans la faune actuelle d'autres espèces que l'on considère comme éteintes parce qu'on ne les connaît encore qu'à l'état fossile. »

Les observations précédentes ne me paraissent pas devoir modifier beaucoup la division que nous avons adoptée, lorsque (tome I, page 549) nous avons supposé l'océan partagé en deux zones par un plan horizontal situé à 500 mètres de profondeur. Nous avons pensé à tort que la vie ne pouvait pas descendre à une plus grande distance du niveau de la mer; mais il n'en est pas moins exact d'affirmer que c'est dans la zone supérieure que la vie acquiert toute son extension. Au delà, la faune n'est pas entièrement anéantie, mais elle se montre de plus en plus appauvrie et finit par se composer exclusivement de rhizo-

podes, de microzoaires et de microphytes que nous savons pouvoir vivre dans les conditions les plus exceptionnelles. En portant le plan de séparation des deux zones à 200 mètres plus bas, on peut reconnaître à la zone supérieure un autre caractère, celui de se prêter seule à la vie végétale. Remarquons, en dernier lieu, que, dans cette zone superficielle, les êtres organisés ne sont pas distribués au hasard; certaines espèces vivent dans certaines parties variant avec la profondeur; le lit de la mer, disait Ed. Forbes, présente une série de régions superposées ayant chacune des habitants particuliers.

Répartition des fossiles dans les strates sédimentaires; faciès côtier, thalassique, pélagien. — Nous avons vu (livre IV, chap. VI) que les dépôts reçus dans un même bassin géogénique se partagent, sous le rapport de leurs caractères stratigraphiques et pétrographiques, en trois zones que nous avons distinguées sous les noms de zones *littorale, thalassique* et *pélagienne*. Les lignes qui limitent ces trois zones et celle qui sépare l'océan de la terre ferme sont à peu près parallèles entre elles. Leur parallélisme n'est qu'approximatif parce que, à mesure que l'on s'éloigne de la côte, la profondeur ne va pas en augmentant d'une manière uniforme; il en résulte que ces zones acquièrent une largeur plus considérable lorsque la profondeur s'accroît d'une manière insensible, et plus petite dans le cas contraire. Lorsque le sol sous marin forme un plan faiblement incliné, les circonstances qui président à l'édification des dépôts littoraux font sentir leur influence à une distance plus grande des côtes, tandis que la zone où s'accumulent les dépôts des eaux profondes et tranquilles s'éloigne dans le même sens.

Je viens de dire que la profondeur va en augmentant d'une zone à la zone voisine; la nature du sous sol varie aussi.

Il est donc naturel de penser que la faune se modifie en même temps; c'est ce que l'observation directe confirme de plus en plus. Les trois zones littorale, thalassique et pélagienne se distinguent donc entre elles non seulement au point de vue géognostique, mais aussi sous le rapport zoologique.

La fossilisation, au lieu d'effacer les caractères distinctifs qui existent entre ces trois zones, a pour effet de les rendre plus nettement accentués. Les débris accumulés dans les dépôts littoraux appartiennent non seulement aux animaux côtiers, mais aussi aux mollusques pélagiens pourvus de coquilles à loges aériennes, tels que les ammonites des temps passés, les nautiles et les spirules de l'époque actuelle. Ces coquilles, lorsqu'elles sont séparées de l'animal dont elles faisaient partie, flottent jusqu'à ce que les vagues, les courants et la marée les rejettent sur le rivage; ainsi, tandis que, de leur vivant, elles appartenaient aux zones thalassique et pélagienne, elles caractérisent plus tard la zone littorale lorsqu'elles s'y trouvent en grand nombre. « Il est, » dit Alc. d'Orbigny, « des circonstances où les coquilles flottantes peuvent perdre leur propriété; c'est lorsque, par exemple, formé de parties calcaires et cornées, le siphon qui traverse toutes les loges aériennes, s'altère par le séjour prolongé dans les eaux de manière à y laisser pénétrer l'élément aqueux; une fracture occasionnée par un choc peut produire le même effet; mais alors, on ne trouvera que de rares coquilles isolées, et jamais on n'en rencontrera sur le même point un nombre considérable. »

Les cadavres des animaux terrestres apportés par les fleuves sont distendus par les gaz qui se produisent pendant la putréfaction et passent ainsi à l'état de corps flottants; leur destinée est donc également d'être, tôt ou tard, rejetés sur la côte.

Ce qui vient d'être dit sur les divers phénomènes dont la

zone littorale est le siége explique suffisamment l'abondance des débris de corps organisés dans les strates qui se sont déposées près des côtes. Ces débris offrent un autre caractère que j'ai déjà signalé, lorsque j'ai fait remarquer qu'ils sont souvent roulés, usés et même triturés (tome I, page 562).

Changements des faciès d'un même terrain dans le sens vertical. — Si l'on suit, pour ainsi dire à la piste, un même terrain dans le sens horizontal, on voit les roches dont il se compose et les fossiles que ces roches renferment, changer à plusieurs reprises, tantôt brusquement, tantôt d'une manière insensible. Ces changements dans le faciès d'un même terrain s'effectuent de telle sorte que l'on constate toujours une relation entre la nature de chaque roche et les débris de corps organisés qu'elle contient.

« *Tel ou tel aspect pétrographique d'un terrain quelconque suppose nécessairement, partout où il se rencontre, le même ensemble paléontologique ; et tel ou tel ensemble paléontologique exclut rigoureusement des genres ou des espèces de fossiles fréquents dans d'autres faciès.* — S'il arrive, par hasard, que certains genres et certaines espèces, propres à un faciès, se retrouvent dans un autre faciès, c'est une règle constante que les individus de ces genres et de ces espèces sont beaucoup plus rares, bien moins développés et moins caractérisés que dans le faciès ou ensemble général auquel ils appartiennent en propre. De même, c'est toujours là où les caractères géognostiques des faciès sont le mieux développés, que les ensembles paléontologiques se prononcent le mieux, que les genres et les espèces sont le plus nombreux et les individus le mieux caractérisés, le mieux développés et souvent dans un état de conservation parfaite. Si les faciès présentent des modifications in-

termédiaires, à caractères géognostiques mixtes, les fossiles participent aussi de ces caractères indécis; ils sont alors généralement peu fréquents, mal conservés, mal développés, et appartiennent à un petit nombre d'espèces et de genres. Tantôt les divers faciès se limitent brusquement, tantôt ils passent de l'un à l'autre par des variétés intermédiaires, à caractères vacillants, mal prononcés, et par l'effet des charriages qui mélangent les produits des divers faciès et rendent ainsi les recherches très difficiles. » (Gressly, *Le Jura Soleurois.*)

Après avoir extrait les lignes précédentes d'un important travail dû à l'un des fondateurs de la géologie jurassienne, nous dirons avec lui que cetté étude des divers faciès des terrains « présente les avantages immédiats suivants : 1° Elle réduit les phénomènes paléontologiques très variés, épars comme au hasard et sans cohérence apparente, à des lois peu nombreuses, très simples, intimement liées entre elles et en rapport avec la partie mécanique de la pétrographie et de la géognosie. 2° Elle explique tous ces faits pétrographiques et géognostiques que présentent les roches sédimentaires et les rend profitables à la science, en les reportant du domaine d'une minéralogie stérile dans le domaine de la géologie, et en démontrant leurs rapports avec le développement progressif de la vie, tel qu'il s'est manifesté aux différentes époques de l'histoire de notre planète. 3° Elle permet de déterminer avec assez d'exactitude le relief du fond marin à diverses époques, jusqu'à son surgissement au dessus du niveau des eaux, et les divers accidents qui ont eu lieu au fond de l'océan et ont influé avec plus ou moins d'énergie sur les terrains et leurs faciès. »

Ce sont principalement les formations jurassique et crétacée qui se prêtent le mieux à l'étude des divers faciès des terrains.

Les formations antérieures au terrain jurassique offrent, dans leur constitution géognostique et paléontologique, une uniformité d'autant plus grande qu'elles sont plus anciennes; on voit chacune d'elles conserver le même aspect sur de grandes étendues. D'ailleurs les terrains anciens sont fortement disloqués et il n'est pas toujours facile de constater si des changements dans l'aspect des strates constituent les divers faciès d'un même horizon géologique plutôt que des assises différentes par leur âge. A mesure que l'on se rapproche de l'époque actuelle, les stations se montrent de plus en plus différentes les unes des autres, même sur des points rapprochés. C'est une loi générale que cet accroissement de variété dans les choses et les phénomènes qui s'observent à la surface du globe : relief du sol, climat, faune, flore, etc. L'étude des faciès de chaque terrain devrait, par conséquent, présenter plus d'intérêt à mesure qu'ils appartiennent à une époque plus moderne, mais il n'en est pas tout à fait ainsi parce que la majeure partie du terrain tertiaire n'est pas encore émergée et se dérobe par conséquent à nos investigations. Remarquons d'ailleurs que la mer où le terrain tertiaire s'est déposé occupait, en Europe et dans l'ancien monde, une étendue bien moindre que celle où le terrain jurassique a été reçu.

Principaux faciès du terrain jurassique dans le Jura. — Les lumachelles, les roches oolitiques et pisolitiques, pour la plupart grossières, constituent le *faciès corallien* et les dépôts qui en dérivent, tels que les charriages et les passages plus ou moins immédiats aux faciès vaseux. Ces roches ont toujours le caractère de dépôts littoraux ou de bas fond; elles renferment seules l'ensemble des fossiles caractéristiques des bancs coralliens et de leurs annexes, composés principalement de coraux fixes, à

axe calcaire massif ou branchu, résistant au choc des vagues et dont les genres vivants, tels que les agaricies, les astrées, les oculines, les caryophyllées, etc., construisent encore de nos jours, dans les mers intertropicales, les bancs et les récifs coralliens si dangereux aux navires. Ces polypiers sont toujours accompagnés d'autres organismes, habituels aux récifs coralliens, qui paraissent se plaire dans les eaux continuellement agitées et renouvelées; ceux-ci sont constitués de manière à résister au choc des vagues, les uns étant inébranlablement fixés au sol, les autres étant doués d'une structure très élastique qui leur permet de fléchir devant l'impétuosité des vagues pour se relever ensuite. On y rencontre encore, comme caractéristiques, les divers crinoïdes qui sont soutenus par une longue tige flexible et qui se cramponnent presque tous au sol sous marin par une base large et ramifiée. Les échinides, surtout ceux à coquille sphéroïdale et à disque aplati, composés d'une multitude de plaquettes épaisses, engrénées les unes dans les autres, et tout à fait propres à amortir les chocs, y abondent en espèces fort variées, appartenant aux genres *Cidaris, Diadema, Clypeaster*. Les spatangoïdes à coquille mince y manquent presque entièrement. On remarque, parmi les acéphales, des genres dont un grand nombre se fixent solidement au sol et aux autres corps immobiles. Dans ce cas sont les huîtres et les spondyles, à base d'attache large, et à coquille fortement plissée ou dentelée, pourvue d'éminences multiples, crochues, aptes à embrasser de près les divers objets gisant au fond de la mer. D'autres, à coquille plus faible, se logeaient dans des cavités accidentelles ou creusées par eux dans les corps les plus durs et les plus résistants; ce sont les *Arca* et les genres perforants. D'autres se garantissaient contre les injures des vagues, soit en se cachant dans les endroits plus

vaseux et abrités par les coraux et les crinoïdes, comme les astartes et leurs analogues, soit par un développement excessif de la masse calcaire de leur coquille, comme les trichites, les chamacées, les pernes, etc. D'autres, enfin, éludaient les efforts destructeurs de l'océan par l'extrême élasticité de leur coquille, tels que les peignes, les limes et les térébratules, ces dernières étant en outre soutenues par une forte attache ligamenteuse. Les gastéropodes du faciès corallien possèdent des propriétés identiques avec celles des lamellibranches : on y distingue surtout des *Turbo,* des *Trochus,* des pleurotomaires, certaines nérinées. Les crustacés, sans être fréquents, ne manquent cependant pas, surtout ceux qui se rapprochent des pagures et dont on ne trouve guère que les fortes pinces. Les céphalopodes, au contraire, et les poissons sont rares; les reptiles paraissent manquer totalement ou ne s'y trouvent qu'accidentellement. Les serpules incrustent abondamment tous les corps soit organiques, soit inorganiques. Un caractère très important et, pour ainsi dire, universel de tous les organismes du faciès corallien, c'est d'être, en général, munis d'un test souvent énormément épais, et toujours fortement accidenté par des côtes, des stries, des piquants, des nœuds et autres ornements qui leur donnent une physionomie toute particulière.

Les roches de nature vaseuse, telles que les marnes, les argiles, les sables terreux, etc., forment un second faciès principal, non moins important que celui dont il vient d'être question, et occupent, dans le Jura, une étendue plus grande que la sienne : c'est le *faciès vaseux.* On n'y voit presque point de coraux, si ce n'est quelques espèces spongieuses, incrustantes et généralement sans base fixe bien apparente ou à base très faible lorsqu'elle existe. Les échinides le sont un peu moins, surtout les vrais *Echinus* et les genres voisins. Les spa-

tangoïdes accompagnent partout les roches vaseuses, mais plutôt celles de nature graveleuse ou subsableuse que les vases proprement dites. Les astéries y sont caractéristiques pour les vases proprement dites, aussi bien que pour les fins graviers et les sables. Il y a souvent une quantité prodigieuse d'acéphales libres, surtout des solens, des pholadomyes, des myopsis, des jambonneaux, des tellines, des mytiles, des modioles, des corbules et les analogues des isocardes, etc.; un grand nombre d'ostracées, parmi lesquelles on distingue des huîtres plates, faiblement attachées ou libres, et des gryphées ou des exogyres entièrement libres ou adhérentes. Parmi les gastéropodes, on rencontre le plus fréquemment des rostellaires, des ptérocères, des natices et les analogues des turritelles et des fasciolaires; parmi les céphalopodes, quelques nautiles, des ammonites très variées et des bélemnites, tous rares ou fréquents, suivant les terrains et les sous faciès. Les serpules sont plus rares que dans le faciès corallien. Les crustacés offrent le genre *Glyphea* et ses analogues. Les poissons à dents en pavé sont des habitants bien caractéristiques pour les vases. Les reptiles s'y montrent surtout avec fréquence dans le terrain jurassique supérieur, mais ils sont plutôt restreints à certaines régions que répandus d'une manière générale. Leurs débris caractérisent surtout les zones littorales et suivent alors moins strictement les lois des faciès, sans abonder cependant, si ce n'est dans le faciès littoral vaseux. Un caractère général et constant de tous les ensembles paléontologiques des faciès vaseux, c'est que les organismes y sont pourvus de tests bien moins propres à résister aux effets destructeurs du charriage. Les coquilles sont ordinairement fort minces, beaucoup plus lisses, moins accidentées et moins ornées de proéminences variées que dans le faciès corallien. Un autre caractère dis-

tinctif des fossiles vaseux est celui d'appartenir presque exclusivement à des espèces libres. Les pentacrines mêmes qui s'y rencontrent ne montrent jamais des traces de leurs racines, soit que leur tige s'enfonçât simplement par son extrémité inférieure dans la vase ou ne s'y implantât par des fibrilles très ténues.

Les *dépôts de charriage,* quoique se rattachant intimement au faciès corallien, duquel ils paraissent naître principalement, accompagnent et lient entre eux tous les faciès, et ne possèdent, excepté quelques genres de fossiles qui tous recherchent les sols peu consistants, aucun ensemble zoologique propre. Ils empruntent, suivant les circonstances, aux divers faciès, avec lesquels ils sont en contact, une partie de leurs caractères en recevant d'eux les dépouilles solides des divers organismes qu'ils réduisent successivement, en raison directe de leur plus ou moins grande distance des gisements primitifs, en débris de plus en plus menus et, enfin, à l'état oolitique ou entièrement décomposé. En se réglant sur l'observation de ce fait, et en suivant les directions d'après lesquelles les débris augmentent en nombre et se montrent mieux conservés, on arrive à des emplacements où se concentre, comme dans des foyers de vie, le développement organique des divers faciès.

Les dépôts thalassiques sont très uniformément constitués, de nature homogène, régulièrement stratifiés, en bancs très continus ou en massifs d'une puissance excessive; cependant ces caractères sont assujétis à certaines exceptions locales, par exemple quand les dépôts de charriage provoquent des perturbations plus ou moins considérables. Ce qui caractérise le mieux ces dépôts, c'est le manque presque complet de fossiles sur de vastes étendues. En fait de polypiers, on n'y rencontre que des débris de coraux fixes mutilés et usés par le roulage.

ou des individus totalement rabougris. Les bélemnites et les ammonites s'y montrent avec quelque abondance; mais ce sont des espèces de grande taille, différant pour la plupart de celles qui vivaient dans les régions littorales. De tous les autres organismes si répandus dans les faciès vaseux ou coralliens, il ne se trouve plus que quelques térébratules, quelques ostracés, etc., qui paraissent s'accommoder de chaque station donnée, en subissant néanmoins des modifications plus ou moins notables.

Ces considérations sur les faciès qui règnent dans le terrain jurassique sont extraites presque textuellement du travail de M. Gressly sur le *Jura Soleurois;* pour atteindre le but que je me proposais, je ne pouvais mieux faire que de laisser parler un géologue qui a étudié le Jura d'une manière si philosophique et si profitable pour la science.

Changements des faciès dans le sens vertical. — Non seulement les circonstances, qui influent sur le mode de distribution des animaux marins, varient d'un point à un autre, mais, en outre, elles se modifient, à la longue, pour une même localité. Les mouvements de l'écorce terrestre peuvent augmenter ou diminuer la profondeur de la mer; la superposition des strates a également pour résultat d'exhausser le fond de l'océan, même lorsque l'écorce terrestre est en repos. La nature des sédiments et, par suite, celle du sol sous marin varient pour un même point d'un moment à l'autre; un fond de sable vient recouvrir un fond de vase ou est recouvert par lui. Ces changements en déterminent d'autres dans la localité que l'on considère. On peut ainsi se rendre compte des variations d'aspect que l'on constate entre les faunes des assises immédiatement superposées les unes aux autres. C'est toujours l'indice d'un change-

ment de station entre les espèces qui, ne se trouvant plus dans les conditions favorables à leur existence, ont émigré et cédé la place à d'autres espèces que des circonstances semblables obligeaient à déserter les localités qu'elles habitaient antérieurement. Ces changements ne doivent pas être confondus avec les rénovations organiques qui, à divers intervalles, s'opèrent sur toute la surface du globe et affectent la majeure partie des êtres organisés; il y a, dans ce cas, un simple déplacement, et, dans l'autre, extinction des espèces préexistantes avec création d'espèces nouvelles.

Ce serait une erreur de croire que tous les terrains, même lorsqu'ils appartiennent à deux époques très voisines, possèdent, dans leur ensemble, les mêmes faciès et les mêmes caractères paléontologiques. Certains faciès dominent dans les uns et sont très rares dans les autres. Il n'y a qu'à observer les allures générales du terrain jurassique pour se convaincre de ce fait (tome I, page 564).

CHAPITRE V.

ROCHES D'ORIGINE ORGANIQUE. — ROLE DES POLYPIERS ; ATOLLS ET RÉCIFS DE CORAUX.

Roches détritiques formées par l'accumulation de débris de coquilles et d'animaux marins ; faluns, crag, calcaire coquillier, lumachelle ; origine de la craie blanche. — Roches formées par l'accumulation sur place de débris d'animaux ; calcaire à entroques, calcaire à cypris et à induses, bancs d'huîtres, de gnathodons, d'éthéries, etc. — Rôle des rhizopodes ou foraminifères ; calcaire à nummulites. — Intervention des polypiers dans l'édification de l'écorce terrestre. — Principales espèces de polypiers coralligènes. — Circonstances favorables à leur développement. — Distribution géographique et géologique des roches coralliennes. — Récifs barrières et récifs côtiers. — Atolls de l'Océanie ; leur forme annulaire expliquée par Darwin.

Roches détritiques formées par l'accumulation de débris de coquilles et d'animaux marins. — Les débris de coquilles et d'animaux marins sont quelquefois si abondants dans certaines roches qu'il est permis de considérer celles-ci comme ayant une origine en partie organique. Le terrain tertiaire, par exemple, présente fréquemment des marnes grossières, sableuses, où les débris de coquilles et de polypiers forment un des éléments essentiels de la roche. Ces marnes servent, en Touraine, à l'amendement des terres ; elles y sont désignées sous le nom de *faluns* que l'on a introduit dans la science pour désigner un des étages de la série géologique. En Angleterre, on appelle *crag* une roche ressemblant beaucoup, sous le rapport pétrologique, aux faluns, également employée dans l'amendement

du sol et servant aussi à dénommer un des étages de la série tertiaire.

Il existe des calcaires auxquels on donne la désignation de *calcaires coquilliers*, désignation qu'il ne faut pas confondre avec celle de *calcaire conchylien*, qu'Alex. Brongniart a créée pour remplacer celle de *muschelkalk*, affectée par les allemands à une partie de la série triasique. Le *calcaire grossier*, avec lequel on construit à Paris, est encore une roche formée en majeure partie de débris roulés et très atténués de coquilles, de polypiers, etc. Le nom de *lumachelle* (de l'italien *lumaca*, limaçon), primitivement employé par les marbriers italiens, est devenu en usage parmi les géologues; il s'applique à des calcaires également coquilliers, mais ordinairement assez durs et assez compactes pour fournir des marbres souvent remarquables par leur éclat nacré.

Le microscope nous montre, dans la craie blanche, une telle abondance de débris de coquilles, de polypiers, de bryozoaires, de rhizopodes et d'infusoires, que cette roche peut être considérée avec raison comme ayant une origine en partie organique. Pourtant, ce serait une erreur de supposer que la texture propre à la craie blanche et à toutes les roches d'aspect crayeux provient du mélange de ces débris microscopiques d'animaux marins, et qu'elle doit être attribuée à l'intervention directe de la vie. La texture crayeuse se rencontre dans des roches qui ne présentent au microscope aucune trace d'être organisé; on l'observe également dans certaines stalactites, dans les nodules calcaires du lehm et dans le carbonate de chaux qui se dépose à l'état pulvérulent entre les fragments des éboulis (tome I, page 336). On ne connaît nullement les causes qui, en détruisant ou en diminuant la force de cohésion des éléments constitutifs de certaines roches, leur impriment

une nuance blanchâtre et les rendent plus ou moins friables. On a dit qu'aucune roche ne ressemblait plus que la craie aux précipités de carbonate de chaux que l'on obtient dans les laboratoires en mettant en jeu les doubles décompositions ; mais les conditions de l'expérience que l'on a ici en vue ne se réalisent certainement pas dans la nature ; elles ne sont pas produites notamment pour le dépôt de la craie blanche. Sir Lyell, en recherchant l'origine de la craie blanche, rapporte qu'il existe, dans les îles Bermudes et dans celles de Bahama, des lagunes, environnées de récifs madréporiques, sur le fond desquelles se dépose une vase calcaire, blanche, molle, qui résulte non seulement de la trituration des débris d'animaux marins, mais encore, ainsi que Darwin l'a observé en étudiant les îles de coraux du Pacifique, de la matière fécale rejetée par les échinodermes, par le strombe géant et les poissons corallophages, qui rongent paisiblement les coraux vivants de la même manière que les quadrupèdes herbivores broutent le gazon. Une vase, ayant la même origine dans les atolls des Maldives, est entraînée, par d'étroites ouvertures, des bassins intérieurs des récifs vers l'océan, et colore les eaux de la mer jusqu'à une grande distance. Les faits cités par sir Lyell nous montrent une des circonstances où il y a formation de calcaire crayeux, mais ils ne nous font pas connaître la véritable nature de ce phénomène, et, dans tous les cas, ne peuvent servir de base à une théorie générale. La craie blanche recouvre en Europe, en conservant son caractère minéralogique, un espace trop étendu pour qu'on puisse la considérer comme s'étant produite dans les mêmes circonstances que la vase des atolls de l'Océanie. Je le répète, on aurait tort d'établir une relation nécessaire entre la texture crayeuse de certaines roches et leur origine organique.

Roches formées par l'accumulation sur place de débris d'animaux. — Les animaux dont les dépouilles, en s'entassant sur place, peuvent déterminer la formation d'assises plus ou moins puissantes, vivent en société. De ce nombre sont les crinoïdes dont le corps était composé de pièces articulées excessivement nombreuses (voir *antè*, page 74). Parkinson estime à 26000 le nombre des pièces de l'*Encrinus liliiformis*; Buckland a montré que, dans le *Pentacrinus briareus*, espèce du lias, il y en a plus de 150000, et M. de Koninck, qui a compté celles d'un échantillon adulte de la même espèce, porte ce nombre à 615000. Représentons nous maintenant une forêt d'encrines venant à être détruite d'une manière lente ou subite; ses débris constitueront des assises entières qui offriront un aspect particulier provenant de la texture spathique propre aux fossiles de la classe des échinodermes (*antè*, page 14). Parmi les roches constituées, en totalité ou en partie, par des encrines, je citerai le *marbre des Ecaussines*, près de Mons, qui est presque noir, avec taches grises de fragments spathiques d'encrines. Des strates avec nombreux débris d'encrines entrent dans la composition de l'oolite inférieure d'un grand nombre de pays, et notamment de la Bourgogne et de la Franche Comté, où toute une assise, qui atteint quelquefois une épaisseur de plus de dix mètres, est presque exclusivement formée de débris d'encrines; cette assise est désignée sous le nom de *calcaire à entroques;* jadis les fragments d'encrines étaient appelés *entroques* ou *trochites*.

Les bélemnites vivaient en troupes nombreuses fréquentant, près du littoral, les parages où elles trouvaient une alimentation facile; aussi voyons-nous, surtout dans le lias, des roches pétries de leurs débris.

J'ai déjà mentionné, comme jouant un certain rôle dans les

terrains lacustres, le *calcaire à cypris;* j'ai dit aussi que le *calcaire à induses* (voir *antè,* page 36) forme, dans le terrain d'eau douce de l'Auvergne, des assises de deux mètres de puissance. Ce calcaire est presque exclusivement composé de ces larves aquatiques de phryganes, insectes qui habitent les endroits marécageux et, le soir, pendant les beaux jours d'été, volent en nombreux essaims.

Certains lamellibranches, tels que les huîtres et les gryphées, édifient, en se superposant les uns aux autres, des bancs entiers qui passent, pour ainsi dire en bloc, à l'état fossile.

Ce sont les formations marines qui nous fournissent presque exclusivement des exemples de strates entièrement formées de valves de coquilles. Pourtant, l'époque actuelle nous montre, dans l'Amérique septentrionale, pays dont les caractères géologiques contrastent quelquefois avec ceux de l'Europe, de puissants amas de débris ayant appartenu à des mollusques d'eau douce. « Sur plusieurs points des Etats Unis, le fond de certains lacs s'exhausse par le dépôt de marnes résultant de la décomposition des *Unio,* des anodontes, etc., et employées pour l'amendement des terres. Le *Gnathodon* multiplie prodigieusement dans les lagunes de la Louisiane et de l'Alabama. Des bancs de coquilles mortes du *Gnathodon cuneatus* se voient jusqu'à la distance de vingt milles dans les terres; la ville de Mobile est bâtie sur un banc de cette sorte; la route de la Nouvelle Orléans au lac de Ponchartrain, sur une longueur de six milles, a été construite avec des *Gnathodon* exploités à l'extrémité orientale du lac où se voit une accumulation de ces coquilles qui n'a pas moins de 1600 mètres de long sur 5 mètres de haut et 60 de large à la base. Le genre *Œtheria,* dont on ne connaît qu'une espèce, que Bruce prenait pour une huître d'eau douce, acquiert aussi un développement très rapide sur

les deux seuls fleuves où il a été observé : le Nil et le Sénégal. Lorsqu'on remonte ce dernier jusqu'à une certaine distance de son embouchure, les Ethéries forment, dit-on, sur les bords et sur son lit des bancs exploités pour la fabrication de la chaux. » (D'Archiac, *Cours de Paléontologie.*)

Rôle des rhizopodes ou foraminifères. — C'est dans l'embranchement des zoophytes que nous trouvons les exemples d'êtres organisés intervenant avec le plus d'efficacité dans l'édification de l'écorce terrestre. La faculté qu'ont ces animaux de coopérer avec tant d'énergie à la formation de masses considérables est due à leur mode d'existence et à la rapidité prodigieuse avec laquelle ils se multiplient; cette rapidité de propagation compense la faiblesse de leur volume. C'est ce que nous allons montrer en parlant des rhizopodes, des polypiers, et, dans le chapitre suivant, des infusoires.

Les rhizopodes ou foraminifères sont des animaux de très petite taille, souvent microscopiques, et dont le corps est protégé par une enveloppe presque toujours calcaire, rarement siliceuse. « Le sable du littoral des mers, » dit Alc. d'Orbigny, « est tellement rempli de rhizopodes, qu'il s'en montre quelquefois à moitié composé. Plancus en a compté 6000 dans une once de sable de l'Adriatique, et nous en avons trouvé jusqu'à 480000 par 3 grammes de sable choisi des Antilles, ou 3840000 dans une once. Ces proportions, multipliées dans un mètre cube, dépassent toutes les prévisions humaines et grossissent tellement le nombre des chiffres qu'on a de la peine à le saisir; mais que sera-ce, pour peu qu'on l'étende à l'immensité de la surface des côtes maritimes du globe? Les restes de rhizopodes forment, en grande partie, des bancs qui gênent la navigation, obstruent les golfes et les

détroits, comblent les ports (nous en avons la preuve par celui d'Alexandrie), et forment, avec les coraux, ces îles qui surgissent tous les jours au sein des régions chaudes du grand Océan. Les rhizopodes entrent pour beaucoup dans la composition de couches entières. A l'époque carbonifère, une seule espèce du genre *Fusulina* a formé, en Russie, des bancs énormes de calcaire. Le terrain crétacé en montre une immense quantité dans la craie blanche, depuis la Champagne jusqu'en Angleterre. Les bassins tertiaires de la Gironde, de l'Autriche, de l'Italie et surtout de Paris, renferment un nombre prodigieux de rhizopodes. On peut dire que la capitale de la France est presque bâtie avec eux. » Le Mont Perdu est en majeure partie composé d'assises pétries de nummulites, et c'est avec une roche de cette nature que la plus grande des pyramides d'Egypte a été construite.

Rôle des polypiers; espèces coralligènes. — Les polypiers, en abandonnant leurs dépouilles, ne forment pas de bancs aussi puissants, aussi étendus et aussi nombreux que ceux qui sont dus à l'accumulation des débris de rhizopodes et d'infusoires. Ils occupent une aire moins vaste que ces animaux, et, au lieu de vivre comme eux sous toutes les latitudes, depuis les pôles jusqu'à l'équateur, ils deviennent de moins en moins abondants à mesure que l'on s'éloigne de la zone intertropicale. Enfin, les polypiers coralligènes ne se développent qu'à une faible distance de la surface des eaux, tandis que les rhizopodes et les infusoires vivent à toutes les profondeurs de l'océan. Mais la manière dont les polypiers édifient des massifs rocheux porte, malgré soi, à voir, dans leurs opérations, l'image la plus saisissante de l'intervention de la vie dans l'accroissement de l'écorce terrestre. Les débris qu'ils laissent

après eux, au lieu de s'entasser pêle-mêle, se rattachent intimement à la roche sous jacente, qui sert de support et de fondement à l'édifice qu'ils élèvent. Ces débris se soudent entre eux pour constituer des masses qui affectent des formes particulières dont les atolls de l'Océanie nous montrent l'exemple le plus remarquable. En un mot, on ne peut s'empêcher de voir dans les polypiers des architectes qui non seulement accumulent des matériaux, mais, en outre, les cimentent entre eux et les disposent de manière à construire un édifice dont le plan est, pour ainsi dire, préconçu.

Les polypiers coralligènes doivent la faculté qu'ils possèdent de déterminer l'établissement des roches coralliennes à leur mode de propagation ainsi qu'à la charpente calcaire qui leur sert de squelette et persiste après eux. Avant de décrire le mode de formation des récifs de coraux, je dois donner une idée de l'organisation des animaux qui les édifient.

Les polypiers coralligènes font partie du groupe des zoanthaires. Ceux-ci sont constitués par une masse charnue, cylindrique ou ovalaire, pourvue d'une seule ouverture pour l'introduction et la sortie des aliments, et creusée d'une cavité unique, qui sert d'estomac et loge les ovaires suspendus à ses parois. Cette cavité est formée par une membrane épaisse et complexe, séparée de l'enveloppe externe par un espace que divisent des cloisons longitudinales auxquelles les ovaires sont annexés. Autour de la bouche sont rangés, comme les rayons d'une fleur composée, des tentacules rétractiles servant à saisir les petits animaux dont le polypier fait sa nourriture.

Quelques zoanthaires, tels que l'actinie ou anémone de mer, sont nus et isolés; ils se fixent sur les rochers au moyen du large épâtement de leur corps fonctionnant comme une ventouse. L'absence chez eux de parties pierreuses ne leur permet

pas de jouer un rôle dans les phénomènes géologiques et nous dispense de nous en occuper plus longtemps.

D'autres zoanthaires, quoiqu'isolés, ont leurs organes soutenus par un squelette calcaire qui est en relation par sa forme avec le corps de l'animal et qui présente notamment des lamelles en nombre égal à celui des cloisons. Ces lamelles persistent lorsque l'animal est mort et offrent, chez la plupart des espèces, l'aspect d'une étoile à rayons plus ou moins nombreux. Ces polypiers simples à squelette calcaire se rencontrent souvent à l'état fossile, mais ne construisent pas de récifs de coraux ; ils ne doivent donc pas attirer notre attention.

Les zoanthaires coralligènes se multiplient non seulement par des œufs, mais aussi par des bourgeons; quelques uns sont même fissipares : chaque individu se dédouble en deux autres qui restent plus ou moins indépendants. La sécrétion calcaire, qui donne origine au squelette pierreux, forme en même temps une masse qui sert de support commun à tous les individus d'un même groupe et les soude entre eux d'une manière plus ou moins complète. L'ensemble des individus soudés constitue ce que l'on appelle un polypier agrégé.

L'aspect général d'un polypier agrégé varie suivant le mode de bourgeonnement. Ce polypier peut offrir une forme arborescente, comme dans les madrépores, les oculines, etc., ou constituer un encroûtement massif, comme dans les astrées, les porites, les caryophylées, etc. Dans ce dernier cas, les séries de bourgeons partent à peu près d'un même point et irradient dans tous les sens en se terminant à la même distance d'un centre commun. Les méandrines sont également des polypiers massifs, mais qui se développent plutôt par fissiparité que par un véritable bourgeonnement; chez elles, les individus, par suite de leur mode de multiplication, res-

tent confondus et soudés latéralement, de sorte que la surface du polypier présente, non pas des cavités circulaires et rayonnées, mais des sillons sinueux, continus, sujets à se bifurquer et présentant des lamelles transversales. — Ce sont les polypiers massifs et non branchus qui concourent principalement à la production des récifs de coraux.

Aspect des roches coralliennes; leur mode de formation. — Par suite de leur mode de croissance et de propagation, les polypiers construisent des masses dont le volume va sans cesse en augmentant. Les débris des animaux morts servent de support aux individus qui leur succèdent immédiatement, et ceux-ci sont, à leur tour, remplacés par d'autres générations qui apparaissent les unes après les autres, tant que les circonstances extérieures sont favorables à leur développement. Les polypiers agrégés, massifs ou arborescents, sont séparés les uns des autres par des lacunes comparables aux vides qui existent entre les branches d'un même arbre ou entre les arbres d'une même forêt. A mesure qu'un banc de polypiers s'exhausse, ces lacunes sont comblées par des matériaux qui ont deux origines différentes. Les uns sont le produit d'une action mécanique et proviennent de la désagrégation soit des polypiers, soit des mollusques qui vivent à côté d'eux. Les autres résultent d'une sédimentation chimique qui se manifeste habituellement autour des polypiers. Ceux-ci, en effet, retirent des eaux océaniennes, molécule à molécule, le carbonate de chaux qu'elles renferment et l'abandonnent ensuite soit de leur vivant, soit après leur mort. Voici une observation qui démontre l'existence de cette sécrétion constante. Lloyd, pendant qu'il parcourait l'isthme de Panama, détacha quelques échantillons de polypiers, et, ne pouvant les emporter, les

laissa dans un endroit abrité où l'eau était peu profonde. Quelques jours après, ils avaient sécrété de la matière pierreuse et s'étaient solidement fixés sur la place où on les avait mis.

Je vais entrer, au sujet du mode de formation des récifs de coraux, dans quelques détails qui achèveront de donner une idée exacte de la structure des bancs de polypiers existant dans les strates sédimentaires (*antè*, page 86).

Le carbonate de chaux sécrété par les polypiers et leurs débris constituent, autour des masses qui résultent directement de leur croissance, des bancs plus ou moins étendus. Ce carbonate de chaux détermine plus spécialement une roche tantôt compacte et solide, tantôt d'un aspect crayeux, tandis que les débris de polypiers et de coquilles forment des roches lumachelliques. Les bancs de polypiers sont également accompagnés de roches oolitiques dont il sera question tout à l'heure. Il existe des passages insensibles entre les roches qui viennent d'être mentionnées et les amas de polypiers en place.

D'après R. Nelson, les Bermudes sont entourées d'un anneau de récifs de coraux : toutes sont formées de roches calcaires, souvent d'un aspect crayeux, et résultant de l'aglutination de coquilles et de polypiers brisés. « Après avoir, » dit-il, « observé la décomposition des coquilles et des polypiers, depuis les moins calcarifères jusqu'aux masses de méandrines et d'astrées, non seulement en place, mais encore dans tout ce qu'ont produit les travaux exécutés sous la cloche à plongeur pour l'établissement des parapets de l'arsenal, je n'hésite pas à attribuer à la craie des Bermudes la même origine que les divers bancs de pierre, plus ou moins solides, qui constituent les îles elles mêmes. Seulement, ceux-ci résultent de l'accumulation de fragments brisés mécaniquement, tandis que la

roche ou pâte crayeuse est due à la destruction, par une longue submersion, du tissu membraneux qui pénétrait toute la masse et qui abandonne alors la matière calcaire retenue dans ses mailles. Celle-ci, en se précipitant, forme cette substance, blanche et tendre, analogue à la craie, qui se trouve au fond des anses et des golfes, mélangée de sable coquillier, de beaucoup de polypiers, de coquilles bien conservées et de masses considérables de méandrines et d'astrées. » Dans chaque polypier agrégé, la partie qui n'est plus vivante se trouve soumise à un travail moléculaire qui, en imprimant une texture cristalline au carbonate de chaux, peut effacer, d'une manière plus ou moins complète, les traces de l'organisation primitive. Le capitaine Beechey a remarqué que le corail mort, qui a été élevé à la hauteur de 12 mètres, dans l'île d'Henderson, est plus ou moins poreux et percé de trous à la surface comme un rayon de miel, et forme à l'intérieur, lorsqu'il se durcit, une substance calcaire compacte. Les détails dans lesquels je viens d'entrer expliquent pourquoi, dans les anciennes strates coralliennes qui font partie des terrains de sédiment, on observe, autour des coraux parfaitement déterminables, des espaces plus ou moins étendus où le tissu des polypiers peut à peine être reconnu; toutefois, même dans ce cas, la roche offre quelque chose qui dénote son origine; elle présente, par exemple, une texture saccharoïde toute particulière.

Les abords des récifs de coraux sont spécialement favorables à la formation des oolites. Le carbonate de chaux qui s'y dépose constamment, la présence de menus débris propres à devenir des noyaux d'oolite, l'agitation constante des eaux (*posteà*, page 106), expliquent l'existence fréquente de roches oolitiques autour des massifs de polypiers soit de l'époque actuelle, soit des temps géologiques. C'est ce que l'on con-

state dans les divers terrains sédimentaires, et surtout dans le terrain corallien; c'est ce que l'on reconnaît à chaque pas dans le Jura; c'est ce que l'on peut observer, de nos jours, dans les récifs de coraux qui entourent la Floride. « Les keys de ce pays sont formés, comme la terre ferme, de coraux morts ou rejetés par la mer, et de sables coralligènes, le tout cimenté ensemble par des infiltrations de carbonate de chaux. Quelquefois, ces roches coralliennes deviennent oolitiques, très compactes; et j'ai vu des échantillons qui, mis à côté de l'oolite corallienne des monts Jura et de l'Angleterre, ne présenteraient pas la plus légère différence de structure, de texture ou de couleur; en les mêlant, il serait impossible de les reconnaître. Cette formation, sous nos yeux, de l'oolite corallienne, est un des faits les plus intéressants des phénomènes actuels, et montre une fois de plus que les mêmes circonstances physiques et mécaniques donnent lieu aux mêmes résultats. Les coraux qui bâtissent les récifs floridiens ont les plus grandes analogies avec ceux du terrain corallien des environs de Salins et de Porrentruy, et si les espèces ne sont pas identiquement les mêmes, au moins les genres sont-ils les mêmes, et, de plus, les mollusques gastéropodes et acéphales, les échinodermes, les serpules, présentent aussi des formes identiques avec celles des animaux des mêmes familles qui habitaient les régions coralligènes jurassiques; en un mot, on retrouve sur les côtes de la Floride, les mêmes faits biologiques, physiques et mécaniques que dans le groupe corallien du terrain jurassique de Suisse et de France; il n'y a de changé que les lieux, et surtout le temps. » (Marcou.)

Conditions favorables au développement des polypiers coralligènes. — Le mode dont les récifs coralliens sont distribués sous le rap-

port géologique et géographique indique d'abord que les polypiers coralligènes exigent, pour se développer, un climat chaud. Ils se plaisent dans les eaux battues par les vagues; les oolites qui accompagnent les anciennes roches coralliennes démontrent que les polypiers dont ces roches renferment les débris vivaient également dans des eaux agitées. L'observation des roches coralliennes anciennes et des récifs de l'époque actuelle fait voir, enfin, que les polypiers coralligènes ne se développent pas sur les fonds vaseux et sur les points où l'eau n'est pas d'une limpidité parfaite.

Les polypiers vivent à diverses profondeurs; il en a été recueilli jusqu'à plus de 400 mètres au dessous du niveau de l'eau, et nous avons cité des turbinoliens vivant dans la Méditerranée à 2000 mètres de profondeur. Mais les polypiers coralligènes ne se rencontrent pas à une profondeur de plus de 40 mètres : c'est l'opinion adoptée par MM. Darwin et Dana. Selon MM. Quoy et Gaymard, les astrées, qu'ils considèrent comme formant le plus de récifs, ne vivent pas au delà de 10 mètres, et, d'après Ehrenberg, les bancs de coraux de la mer Rouge, se maintiennent entre 1 et 4 mètres au dessous de la surface de l'eau.

On ne possède pas encore d'observations bien précises sur l'accroissement des polypiers. Ehrenberg a observé, dans la mer Rouge, des méandrines isolées ayant une forme globulaire et $2^{m},74$ de diamètre ; selon lui, ces méandrines devaient être d'une très grande ancienneté et vivre probablement depuis des milliers d'années, de sorte que, dit-il, Pharaon a pu voir les mêmes masses d'individus. L'appréciation portée par Ehrenberg sur l'accroissement annuel des polypiers est certainement trop faible. D'après M. Dana, la proportion ordinaire de l'accroissement des madrépores branchus peut atteindre 41 mil-

limètres par an. A West Key, au sud ouest du cap méridional de la Floride, M. Hunt a observé, sur un fond de 3^m, 50 d'eau qui avait été nettoyé en 1846, une méandrine qui, dans l'espace de 11 années, avait acquis un rayon de 6 pouces, ce qui donne un accroissement annuel de 0^m,015. Une oculine a crû sur la même place, en 12 ans, de 9 pouces de haut sur 12 pouces de large, c'est à dire, de 0^m,019 par an.

Il ne faut pas confondre l'accroissement annuel des polypiers avec celui des récifs qu'ils édifient. Les bancs de polypiers se développent avec une grande lenteur parce que les débris de ces animaux servent, en majeure partie, à combler les lacunes qui les séparent les uns des autres, ou sont entraînés par les courants à des distances plus ou moins grandes. Il est même des cas où le mouvement des eaux et les courants peuvent amener dans un récif des dégâts considérables et opérer son démantèlement. Il existe entre les polypiers édifiant des récifs, et les eaux tendant à détruire leur ouvrage, une lutte que Darwin décrit ainsi : « Quand l'océan lance ses vagues sur les bords extérieurs des îles de la mer Pacifique, on le dirait un ennemi invincible. Cependant on le voit dompté par des obstacles en apparence très faibles. Jamais il n'est en repos, et les grosses houles, dues à l'action constante des vents alizés, existent toujours : le tourbillonnement de l'eau sur les brisants est bien plus considérable dans ces îles que dans nos régions tempérées, et l'on ne peut les observer sans être convaincu que des roches, même de granite ou de quartz, finiraient par céder à des forces aussi irrésistibles et par être démolies. Eh bien ! malgré cela, ces petites îles de coraux, si basses, si insignifiantes, résistent, grâce à l'intervention d'une autre force, en quelque sorte opposée à la première, et qui prend part à la lutte. Les forces organiques détachent, un à

un, des brisants écumants, les atomes de carbonate de chaux pour les réunir ensuite sous une forme symétrique; des myriades d'architectes sont nuit et jour à l'ouvrage, et l'on voit leur corps gélatineux et mou dompter, à l'aide des lois de la vitalité, la puissance mécanique des vagues contre lesquelles ni l'industrie de l'homme, ni la partie inanimée de la nature ne pourraient lutter avec succès. »

Récifs côtiers ou récifs frangés; récifs barrières; atolls. — Les récifs de coraux peuvent se présenter sous une des trois formes qui vont être décrites.

Les *récifs côtiers* ou *récifs frangés* (*fringing reefs*), toujours peu étendus, se trouvent en contact immédiat avec le littoral; ils sont interrompus lorsque la profondeur s'accroît d'une manière trop rapide; ils le sont également sur les points par où les eaux venant de l'intérieur du continent prennent leur écoulement vers la mer; sur ces points, les récifs de coraux laissent un canal dont les bords sont coupés à pic.

Les *récifs barrières* (*barrier reefs*) accompagnent la côte dont ils sont séparés par un canal plus ou moins large et plus ou moins profond. Ils forment une zone également interrompue sur les points où la profondeur s'accroît ou qui livrent passage aux eaux douces venant du continent. L'étendue des récifs barrières et la largeur du canal qui les sépare de la terre ferme varie beaucoup. Le récif barrière de la côte occidentale de la Nouvelle Calédonie a 100 lieues de longueur. Sur la côte orientale de l'Australie, un récif barrière se prolonge presque sans interruption sur 400 lieues; le canal qui le sépare du littoral a de 20 à 50 mètres de profondeur sur 5, 10 et 15 lieues de largeur. Mais, souvent, la portion de terre ferme qu'accompagne un récif barrière n'offre qu'une très faible étendue; ce

récif et le canal intérieur forment alors deux zones circulaires qui entourent une île de deux anneaux concentriques. Dans certains cas, l'île elle même peut ne pas exister; l'accident topographique, dont les diverses transformations viennent d'être indiquées, se présente alors sous la forme d'un cercle de coraux enveloppant un espace peu profond dépourvu de polypiers; cet espace annulaire constitue ce que l'on a appelé un *atoll sous marin*, par opposition aux atolls proprement dits.

Jusqu'à présent, nous avons eu en vue des récifs placés au dessous de la surface des eaux; il est des cas où la masse corallienne s'élève d'un ou de plusieurs mètres au dessus du niveau de l'océan. Mais alors cette masse est formée de coraux morts, car les polypiers périssent dès qu'ils sont mis en contact avec l'air atmosphérique. L'émergement de cette masse se produit quelquefois à la suite d'un soulèvement du sol; plus fréquemment, il est le résultat de l'action des vagues. Le naturaliste Chamisso, qui faisait partie de l'expédition de Kotzebue, donne de la transformation des récifs en îles la description suivante : « Quand le récif est d'une hauteur telle qu'il se trouve presque à sec au moment de la basse mer, les coraux abandonnent leurs travaux. Au dessus de cette ligne, on observe une masse pierreuse continue, composée de coquilles de mollusques, d'échinites avec leurs pointes brisées, et de fragments de coraux, cimentés par un sable calcaire provenant de la pulvérisation des coquilles. Il arrive souvent que la chaleur du soleil pénètre cette masse lorsqu'elle est sèche, et occasionne des fentes en plusieurs endroits; alors les vagues ont assez de force pour diviser des blocs de coraux qui ont jusqu'à six pieds de long, sur trois ou quatre d'épaisseur, et pour les lancer sur les récifs, ce qui finit par en élever tellement la crête, que la haute mer ne la recouvre qu'à certains moments de l'année. Le sable cal-

caire n'éprouve ensuite aucun autre dérangement, et offre aux graines d'arbres et de plantes, que les vagues y amènent, un sol sur lequel ces végétaux croissent assez rapidement pour ombrager bientôt sa surface éblouissante de blancheur. Même avant que les arbres soient assez touffus pour former un bois, les oiseaux de mer y construisent leurs nids; les oiseaux de terre égarés viennent y chercher un refuge; et, plus tard enfin, lorsque le travail des polypiers est depuis longtemps achevé, l'homme paraît et bâtit sa hutte sur le sol devenu fertile. »

On donne le nom d'*îles lagouns* ou d'*atolls* à des îles circulaires ou annulaires qui n'existent que dans l'Océanie et qui sont exclusivement formées de roches coralliennes.

Les dimensions des atolls varient beaucoup. Les uns ont un tiers de lieue de diamètre. L'île de Bow Island, qui est également un atoll, a 11 lieues de diamètre, et quelques unes des Maldives passent pour être deux fois aussi considérables. La largeur du récif annulaire varie entre 250 et 500 mètres; sa plus grande élévation se trouve du côté du vent, circonstance que l'on s'explique aisément lorsque l'on tient compte de ce qui vient d'être dit sur l'origine des récifs émergés. Sa surface est uniforme ou très faiblement inclinée vers l'intérieur de la lagune qui occupe la partie centrale de l'atoll. Le fonds de cette lagune, ordinairement recouvert d'une boue crayeuse, est habité par quelques coraux branchus et, pour la plupart, d'espèces différentes de celles qui vivent à l'extérieur de l'atoll. Cette lagune communique avec l'océan par un ou plusieurs canaux dont l'origine est due aux courants qui, à la basse marée, chassent l'eau de cette lagune vers la mer. Cette eau est quelquefois mélangée d'eau douce et plus ou moins chargée de limon, ce qui la rend probablement impropre au développe-

ment des polypiers coralligènes. Les canaux des atolls et ceux des récifs barrières ou des récifs côtiers ont tous la même raison d'être. Au milieu de la lagune se trouve quelquefois une île dont la composition pétrologique est tout à fait différente de celle de l'anneau. Une bande de coraux vivants, d'autant plus large que la pente du sol est moins inclinée, entoure le récif annulaire. Ordinairement, la pente du sol est très forte du côté de la mer, parfois même de 45° et plus rapide que celle d'aucun cône volcanique. On a vu que les polypiers coralligènes ne se développent qu'à une faible profondeur; Forster, le compagnon de Cook, s'exagérait leur puissance lorsqu'il leur accordait la faculté d'élever du fonds des mers très profondes, des murs escarpés et presque verticaux. Dans les atolls ils forment des masses annulaires que M. Marcou compare à de magnifiques couronnes de coraux posées comme des diadèmes sur le front des montagnes sous marines.

Origine des atolls et des récifs barrières. — La forme même des atolls avait fait voir en eux des cratères de volcans dont les bords se seraient recouverts de coraux; les canaux établissant une communication entre la lagune et l'océan correspondraient aux échancrures établies par les courants de lave autour du cratère. A l'appui de cette opinion, on faisait remarquer l'analogie de forme qui existe entre les atolls et certaines îles volcaniques, telles que celle de Barren (voir tome II, page 115); on invoquait aussi la présence de beaucoup de volcans sur les points de l'Océan Pacifique où s'élèvent des récifs de coraux. Pourtant, diverses considérations rendaient inadmissible la théorie de l'origine volcanique des atolls. Quelle dimension ne fallait-il pas supposer à certains cratères? Comment s'expliquer cette multitude de volcans répartis dans toute l'Océanie et se

terminant tous à la même hauteur? Où trouverait-on à la surface du globe une chaîne de montagnes dont presque tous les sommets auraient, à 40 mètres près, la même altitude? D'ailleurs, cette théorie ne pouvait nullement s'appliquer aux récifs barrières, et pourtant, lorsqu'on étudie la structure des atolls, on voit qu'ils ne sont qu'un cas particulier de ces récifs barrières et qu'ils résultent, par conséquent, des mêmes causes.

Darwin, pour rendre compte de la formation des atolls, a émis une théorie que je vais exposer en peu de mots; cette théorie, qui a son point de départ dans l'idée d'un affaissement lent du sol, s'applique également aux récifs barrières.

Les polypiers coralligènes, avons-nous dit, ne peuvent vivre à plus de 40 mètres de profondeur; cette condition de leur existence implique nécessairement que ces polypiers sont des animaux qui se développent le long des côtes et sur les points où le sol sous marin s'exhausse de manière à constituer des îles et des hauts-fonds. Pourtant, les polypiers coralligènes, tout en ne pouvant vivre que le long des côtes, tendent ordinairement, ainsi que nous l'avcns déjà dit, à se maintenir à une certaine distance de la terre ferme. Diverses causes, qui agissent d'une manière tantôt concomittante, tantôt isolée, les en éloignent: près de la ligne littorale, les eaux sont très peu profondes, souvent mélangées d'eau douce apportée par les fleuves ou salies par les matières terreuses provenant de l'agitation du sol sous marin. Cet espace, presque abandonné par les polypiers coralligènes, est tôt ou tard comblé soit par les débris de ces polypiers que les vagues poussent devant elles, soit par les détritus que charrient les cours d'eau qui viennent de la terre ferme; aussi les récifs côtiers procèdent-ils fréquemment des récifs barrières par voie de comblement. Si le sol habité par les polypiers est immobile, un moment vient où ceux-ci se

rapprochent tellement de la surface des eaux que leur existence n'est plus possible. Mais si le sol s'affaisse lentement et d'un mouvement à peu près égal à celui dont le récif s'exhausse, les polypiers se trouvent toujours recouverts d'une nappe d'eau suffisante. En examinant ce qui doit se passer dans cette circonstance, on arrive à se rendre un compte exact du mode de formation des atolls et des récifs barrières.

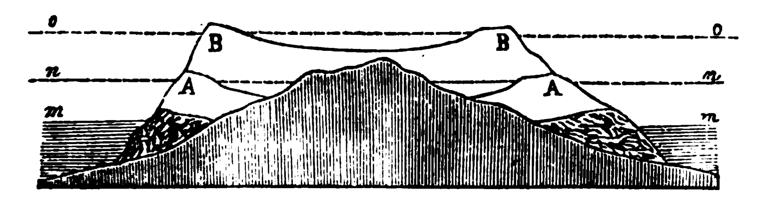


FIG. 127.

Dans la figure 127, la partie marquée de traits verticaux représente une île soumise à un affaissement très lent. Les lignes *mm, nn, oo*, correspondent aux divers niveaux de l'océan par rapport à cette île. Les conséquences auxquelles on va être conduit seront les mêmes si, au lieu de supposer que l'île s'affaisse, nous admettons que le niveau de l'océan s'exhausse. Lorsque le niveau est en *mm*, les masses coralliennes, indiquées dans la figure par de petits traits, forment des récifs côtiers. Quand le niveau est en *nn*, ces masses coralliennes se sont exhaussées jusqu'en A, mais n'ont pas recouvert tout l'espace nouvellement envahi par les eaux : j'ai mentionné les circonstances qui s'opposent à leur développement sur cet espace; la figure montre qu'alors on aura un anneau corallien, entourant une lagune qui enveloppera elle même le sommet de l'île primitive. Enfin, lorsque le niveau sera en *oo*, l'île aura totalement disparu et se trouvera rem-

placée par une lagune; mais l'anneau corallien, grâce au travail incessant des polypiers, aura persisté et sera venu se placer en B. Evidemment, la théorie que je viens de résumer est également admissible, quelle que soit l'étendue de la terre ferme et, par conséquent, lorsque cette terre ferme forme un continent. Elle peut donc servir à expliquer le mode de formation des récifs barrières.

Distribution géologique et géographique des bancs de coraux. — Pendant les périodes anciennes, des bancs de coraux ont pu exister dans toutes les mers de l'Europe, même jusque sous les latitudes de l'Angleterre; mais ce n'est que pendant la période jurassique qu'ils ont pris une extension comparable à celle que nous leur voyons offrir de nos jours dans les régions équatoriales. Dès le commencement de la période crétacée, ils ont rapidement perdu de leur importance en Europe et déjà, pendant la période tertiaire, il ne s'en formait plus en France et dans les régions situées sous la même latitude. Pendant les temps géologiques, la limite septentrionale de la zone des récifs coralliens s'est de plus en plus rapprochée de l'équateur; ce déplacement a été surtout la conséquence de l'abaissement de la température à la surface du globe.

Le développement des polypiers coralligènes est borné aux régions intertropicales; les deux lignes qui limitent au sud et au nord la zone où ils peuvent vivre coïncident à peu près avec les tropiques, en s'infléchissant, tantôt vers l'équateur sous l'influence des courants froids, tantôt dans un sens opposé sous l'influence des courants chauds. On attribue au gulf-stream l'existence de récifs de coraux autour des Bermudes, bien que ces îles soient situées par 33° de latitude nord.

« Le voisinage des roches volcaniques, regardé comme favo-

rable au développement des polypiers, ne paraît pas être une circonstance aussi importante qu'on le pensait, car nulle part ces bancs de coraux ne sont aussi développés que le long des côtes de la Nouvelle Calédonie et du nord est de l'Australie, où les roches appartiennent au terrain primaire. En outre, les plus grands atolls, tels que les îles Maldives, Chagos, Marshal, Gilbert et les îles Basses, ne laissent voir d'autres roches que celles qui constituent les polypiers eux mêmes. M. Darwin fait remarquer que toute la côte occidentale de l'Amérique, au nord et au sud de l'équateur, de même que les îles Gallapagos, n'offrent point de bancs de polypiers, malgré l'élévation de la température. Dans le voisinage de ces dernières îles, la température a varié de 14° à 20°; cet abaissement serait dû au courant froid méridional qui longe la côte d'Amérique et qui maintient l'eau à 15°,6 au lieu de 18°,9. La température moyenne de l'eau de la mer, autour des îles Basses et des atolls de Taïti, quoique plus éloignée de l'équateur, s'est trouvée de 25°; de sorte qu'une différence de 5° dans la température moyenne et une de 10° dans les températures extrêmes suffisent pour empêcher le développement des polypiers qui construisent les récifs. » (D'Archiac.)

La côte occidentale de l'Afrique, de même que celle de l'Amérique, est dépourvue de récifs de coraux ; il n'en existe pas non plus dans les îles du centre de l'Océan Atlantique, à l'exception des Bermudes. On en trouve beaucoup dans le golfe Persique et dans la mer Rouge, ainsi que dans cette partie de la mer des Indes comprise entre la côte orientale de l'Afrique et l'île de Sumatra. L'Océan Pacifique renferme un nombre prodigieux de récifs coralliens.

Les récifs de coraux sont également très abondants dans les Antilles et sur la côte occidentale de la Floride. « Grâce aux

recherches d'Agassiz, on sait à présent que toute la péninsule de la Floride est formée de roches appartenant à notre époque, et, de plus, que ces roches sont surtout composées de bancs de coraux et de coquilles marines. Toutes les parties méridionales et occidentales de la Floride sont entourées d'une quantité innombrable d'îles séparées par des canaux très étroits. Souvent ces îles sont unies entre elles à la marée basse, ou bien elles s'unissent à la terre ferme par des marécages plats. Ces îles, connues dans le pays sous le nom de *keys* (clefs), forment des lignes concentriques autour de la terre ferme dont elles ne s'éloignent pas, au maximum, de plus de 10 lieues. Elles ne s'élèvent guère que de 6 à 12 pieds au dessus du niveau de la mer et sont formées, comme la terre ferme, de coraux morts et rejetés par la mer, et de sables coralligènes, le tout cimenté ensemble par des infiltrations de carbonate de chaux. Le récif des coraux vivants s'étend parallèlement à la ligne des keys, en suivant les mêmes courbes, et seulement à une distance qui varie de 2000 à 6000 mètres. Entre le récif et les keys se trouve un canal assez profond pour être navigable (car il y a de 6 à 7 brasses), et qui communique avec la pleine mer, en un grand nombre de points, par des canaux qui coupent le récif de coraux vivants. Généralement les bancs de coraux formant le récif n'atteignent pas la surface de la mer, excepté sur quelques points où des coraux morts et des sables s'accumulent et commencent à former de petits keys. En dehors des récifs de coraux vivants, vient le gulf-stream, dont la largeur se trouve de plus en plus resserrée par suite de leur extension. » (Marcou.)

CHAPITRE VI.

ROCHES D'ORIGINE ORGANIQUE (*suite*). — ROLE DES INFUSOIRES. — INTERVENTION DU FER DANS LES PHÉNOMÈNES D'ORDRE ORGANIQUE.

Microzoaires et microphytes. — Diatomées. — Tripoli, farine fossile, terre édule. — Fer des marais. — Infusoires des volcans. — Dusodyle. — Guano; huaneras ou gisements de guano; époque de leur formation. — Intervention du fer dans les phénomènes géologiques d'ordre organique. — Formation et décomposition successives des pyrites; oxydation du sulfure de fer au contact de l'atmosphère, et sa réduction dans l'eau sous l'influence des matières animales en décomposition. — Fer des tourbières. — Influence de l'acide carbonique sur le fer hydraté. — Fer carbonaté des houillères.

Microzoaires et microphytes; farine fossile, dusodyle, tripoli; infusoires des volcans. — Au début des deux séries animale et végétale se trouvent des êtres microscopiques remarquables par leur faible volume et par la simplicité de leur organisation. J'ai déjà dit (*antè*, page 41) que le nom de *microzoaires* ou de *protozoaires* (μικρὸς, petit; πρῶτος, premier; ζῶον, animal), est affecté à ceux qui appartiennent au règne animal, tandis que ceux qui se rattachent au règne végétal ont reçu la désignation de *microphytes* ou de *protophytes* (μικρὸς, petit; πρῶτος, premier, φυτὸν, plante). Les protozoaires abondent surtout dans l'océan; leur carapace est plutôt calcaire que siliceuse. Les protophytes dominent, au contraire, dans les eaux douces et sur le sol émergé; leur carapace est plus fréquemment siliceuse que calcaire.

Ce sont ordinairement les microphytes, et surtout ceux de la famille des diatomées, qui composent les roches citées comme étant formées d'infusoires. Les diatomées sont enveloppées d'une carapace prismatique, siliceuse, diaphane et fragile. Cette carapace résulte de la juxtaposition de deux valves ou plaques, parfaitement ajustées l'une sur l'autre, et laissant entre elles une cavité qui présente toutes sortes de formes : carrée, triangulaire, cordiforme, en bateau, etc. Les diatomées se reproduisent non seulement par des spores comme tous les cryptogames, mais aussi par scission longitudinale de chaque individu. Ce mode de multiplication, qui a valu aux diatomées le nom qu'elles portent, explique comment elles se propagent d'une manière aussi rapide. Quant à leur faible volume, il me suffira, pour en donner une idée, de rappeler que certaines diatomées ont à peine un centième de millimètre, de sorte que, dans un millimètre cube, c'est à dire dans un espace plus petit qu'une tête d'épingle, il y a un million de leurs carapaces. Signalons maintenant quelques uns de leurs gisements principaux.

Le nom de *tripoli* s'applique à des roches à grain excessivement fin, rudes au toucher, quelquefois compactes, plus souvent pulvérulentes. Elles sont presque en totalité composées de silice à laquelle se mêle un peu d'alumine et de fer qui la colore en jaune ou en rouge clair. On connaît l'emploi du tripoli pour le polissage du bois, de la nacre, de l'ivoire, du cuivre, etc. Son nom vient, dit-on, de ce que le premier qui fut employé, provenait d'une des deux villes portant le nom de Tripoli et situées, l'une en Syrie, l'autre en Afrique.

Les tripolis peuvent se diviser en deux groupes caractérisés par leur origine, qui est tantôt inorganique, tantôt organique.

Les tripolis d'origine inorganique sont des roches (ordinai-

rement des schistes argileux) tantôt chauffées et torréfiées par le feu des volcans ou des houillères embrasées, comme à Douthweiler, près Saarbruck et à Aubin, dans l'Aveyron; tantôt altérées par la décomposition des pyrites, comme à Poligné, près de Rennes, en Bretagne.

La plupart des tripolis ont une origine organique et résultent de l'accumulation d'un nombre prodigieux de carapaces de diatomées, quelquefois marines, mais bien plus fréquemment d'eau douce. C'est ce que Ehrenberg a constaté le premier, notamment pour les tripolis de Santa Fiore, en Toscane; de Bilin, en Bohême; de Franzeunsbad, près d'Eger; de Planitz, en Saxe; de l'Ile de France, etc. A Bilin la couche de tripoli s'étend sur une large surface et a plus de quatre mètres d'épaisseur. Au microscope, la roche se montre constituée de carapaces de diatomées et surtout de *Gaillonella distans*, en nombre si considérable que Ehrenberg estime qu'un pouce cube doit en contenir 41 milliards d'individus, tous rattachés les uns aux autres sans ciment visible. Aux débris de diatomées se joignent des spicules siliceuses ou supports intérieurs d'éponges d'eau douce. La couche de tripoli est recouverte par une masse ayant l'aspect de la calcédoine et consistant en diatomées et en spicules renfermées dans un ciment qui résulte de la dissolution de la silice dans l'eau.

Au dessous de Berlin, à une profondeur de sept mètres, existe une nappe de tourbe argileuse, remplie d'infusoires qui y vivent et s'y propagent grâce, sans doute, à l'humidité que la Sprée entretient dans le sol. Ces infusoires se développent jusqu'à une profondeur de vingt mètres; c'est ce qui a fait dire que la ville de Berlin est bâtie sur un sol vivant. Les vastes marais salants de la Caroline du sud, de la Géorgie et de la Floride abondent en diatomées, dont les coquilles, successive-

ment entassées dans la vase, nous font voir comment se sont formés, dans la Virginie et le Maryland, les dépôts tertiaires de composition analogue et tout aussi étendus, quoiqu'ordinairement plus sableux.

Les infusoires, surtout ceux qui appartiennent au règne végétal, forment quelquefois des masses appelés *farines fossiles* (voir tome I, page 336) ou *terres édules*, parce que certaines populations, vivant sous des climats rudes et improductifs, les emploient comme aliment. Il existe en Laponie une substance minérale, vulgairement appelée *Bergmehl* (*farine des montagnes*), que les habitants de ce pays, dans les grandes famines, mêlent à leur farine pour en faire du pain. Cette farine des montagnes, que les Lapons regardent comme un don du grand esprit des forêts, renferme dix neuf espèces d'infusoires. L'encyclopédie japonaise parle également de la *farine de pierre*, que l'on a mangée et que l'on mange également en Chine dans les temps de disette, en la considérant aussi comme un don de la divinité. Cet usage de certaines terres, comme aliment, est répandu chez les populations indigènes de l'Amérique méridionale et centrale, ainsi que dans l'Australie.

Les diatomées ont la propriété de s'assimiler non seulement la silice, mais aussi le fer que l'on trouve dans leurs carapaces même les moins colorées. Cette propriété existe au plus haut degré chez les diatomées du genre *Gaillonella* ou *Meloseira*, et particulièrement dans l'espèce *Gaillonella ochracea* ou *ferruginea*, qui vit dans les marais peu profonds. Le fer dit des marais n'est même souvent que le résultat de l'accumulation d'un nombre prodigieux de carapaces de *Gaillonella ferruginea;* il en est également ainsi pour la matière jaune mucilagineuse qui couvre quelquefois les ruisseaux et les eaux stagnantes. Le *Meridion circulare* forme à lui seul une couche

au fond des ruisseaux des environs de West-Point; aux premiers jours du printemps, il constitue une matière muqueuse, ferrugineuse, recouvrant les pierres, les branches, les herbes qui occupent le lit de ces cours d'eau.

Les volcans sont creusés de cavités plus ou moins vastes où les eaux s'infiltrent, s'accumulent et favorisent le développement des infusoires. Lorsqu'une éruption a lieu, ces infusoires sont projetés dans l'air en quantités considérables, après avoir été en quelque sorte frittés par l'action du feu volcanique. Les cendres, rejetées par les volcans et souvent transportées par les courants atmosphériques, n'ont pas souvent une autre origine. Lors de l'éruption de l'Hécla, en Islande, le 2 septembre 1845, des cendres volcaniques furent portées par les courants aériens jusque sur les îles Shetland et Orcades. L'île de l'Ascension, dépourvue d'arbres et de sources, offre un énorme amas de cendres volcaniques presque entièrement composées de débris organiques; ce sont, pour la plupart, des portions fibreuses de plantes, beaucoup de denticules marginales de graminées, mélangées d'infusoires siliceux de forme exclusivement d'eau douce. La provenance des infusoires, et surtout des diatomées qui entrent dans la composition des cendres volcaniques, explique suffisamment pourquoi ces infusoires appartiennent presque toujours à des espèces d'eau douce; la seule exception à ce fait général s'observe dans une localité de la Patagonie; on comprend que les eaux de l'océan ne puissent pénétrer dans l'intérieur des volcans que lorsque des circonstances exceptionnelles les y conduisent.

Le *Dusodyle* (δυσωδος, mauvais) est une substance flexible, légèrement élastique, se présentant en feuillets jaunes ou gris verdâtres, très inflammable, brûlant avec une flamme vive et en répandant une mauvaise odeur qui lui a valu son nom.

ment entassées dans la vase, nous font voir comment se sont formés, dans la Virginie et le Maryland, les dépôts tertiaires de composition analogue et tout aussi étendus, quoiqu'ordinairement plus sableux.

Les infusoires, surtout ceux qui appartiennent au règne végétal, forment quelquefois des masses appelés *farines fossiles* (voir tome I, page 336) ou *terres édules*, parce que certaines populations, vivant sous des climats rudes et improductifs, les emploient comme aliment. Il existe en Laponie une substance minérale, vulgairement appelée *Bergmehl* (*farine des montagnes*), que les habitants de ce pays, dans les grandes famines, mêlent à leur farine pour en faire du pain. Cette farine des montagnes, que les Lapons regardent comme un don du grand esprit des forêts, renferme dix neuf espèces d'infusoires. L'encyclopédie japonaise parle également de la *farine de pierre*, que l'on a mangée et que l'on mange également en Chine dans les temps de disette, en la considérant aussi comme un don de la divinité. Cet usage de certaines terres, comme aliment, est répandu chez les populations indigènes de l'Amérique méridionale et centrale, ainsi que dans l'Australie.

Les diatomées ont la propriété de s'assimiler non seulement la silice, mais aussi le fer que l'on trouve dans leurs carapaces même les moins colorées. Cette propriété existe au plus haut degré chez les diatomées du genre *Gaillonella* ou *Meloseira*, et particulièrement dans l'espèce *Gaillonella ochracea* ou *ferruginea*, qui vit dans les marais peu profonds. Le fer dit des marais n'est même souvent que le résultat de l'accumulation d'un nombre prodigieux de carapaces de *Gaillonella ferruginea*; il en est également ainsi pour la matière jaune mucilagineuse qui couvre quelquefois les ruisseaux et les eaux stagnantes. Le *Meridion circulare* forme à lui seul une couche

au fond des ruisseaux des environs de West-Point; aux premiers jours du printemps, il constitue une matière muqueuse, ferrugineuse, recouvrant les pierres, les branches, les herbes qui occupent le lit de ces cours d'eau.

Les volcans sont creusés de cavités plus ou moins vastes où les eaux s'infiltrent, s'accumulent et favorisent le développement des infusoires. Lorsqu'une éruption a lieu, ces infusoires sont projetés dans l'air en quantités considérables, après avoir été en quelque sorte frittés par l'action du feu volcanique. Les cendres, rejetées par les volcans et souvent transportées par les courants atmosphériques, n'ont pas souvent une autre origine. Lors de l'éruption de l'Hécla, en Islande, le 2 septembre 1845, des cendres volcaniques furent portées par les courants aériens jusque sur les îles Shetland et Orcades. L'île de l'Ascension, dépourvue d'arbres et de sources, offre un énorme amas de cendres volcaniques presque entièrement composées de débris organiques; ce sont, pour la plupart, des portions fibreuses de plantes, beaucoup de denticules marginales de graminées, mélangées d'infusoires siliceux de forme exclusivement d'eau douce. La provenance des infusoires, et surtout des diatomées qui entrent dans la composition des cendres volcaniques, explique suffisamment pourquoi ces infusoires appartiennent presque toujours à des espèces d'eau douce; la seule exception à ce fait général s'observe dans une localité de la Patagonie; on comprend que les eaux de l'océan ne puissent pénétrer dans l'intérieur des volcans que lorsque des circonstances exceptionnelles les y conduisent.

Le *Dusodyle* (δυσώδης, mauvais) est une substance flexible, légèrement élastique, se présentant en feuillets jaunes ou gris verdâtres, très inflammable, brûlant avec une flamme vive et en répandant une mauvaise odeur qui lui a valu son nom.

Cette substance, que l'on rencontre dans quelques gisements de lignite, est placée par les minéralogistes à côté des combustibles. Ehrenberg a reconnu que le dusodyle est, en majeure partie, formé d'infusoires siliceux et de débris de végétaux qui proviennent d'arbres résineux ; il se rapproche du tripoli dont il ne diffère que par une quantité plus ou moins grande de ces débris de végétaux. On est conduit à adopter cette manière d'apprécier la nature du dusodyle, lorsque l'on tient compte de l'analyse qu'en a faite M. Delesse ; cette analyse a donné les résultats suivants : eau et matières volatiles, 49,1 ; carbone 5,5 ; cendres, 45,4.

GUANO. — Les coprolites, dans quelques contrées, forment presque à eux seuls des bancs entiers exploités pour l'agriculture. Ces coprolites ont été déposés par des animaux marins, reptiles ou poissons, vivant par troupes nombreuses. De nos jours, un phénomène semblable se produit sur les côtes de plusieurs contrées et notamment sur les côtes occidentales de l'Amérique du sud. Des poissons et des mammifères marins, tels que le phoque, le marsouin, etc., y déterminent, par l'accumulation de leurs excréments, des amas de *guano* que l'on exploite avec ceux bien plus étendus que produisent les oiseaux.

Les gisements de guano d'oiseau (*guano de pajaro*) sont répartis sur le littoral du Pérou, entre le 2e et le 3e degré de latitude australe, depuis la baie de Payta jusqu'à l'embouchure du Rio-Loa. En dehors de ces limites, dans le Chili et les îles Gallapagos, par exemple, le guano se rencontre encore, quelquefois même très abondamment ; mais alors il est à peu près dépourvu des sels ammoniacaux et des principes organiques auxquels il doit une grande partie de ses propriétés ; il est très

riche en acide phosphorique, mais presque complétement dépourvu de matières azotées : on peut le distinguer en lui donnant l'épithète de terreux.

Le guano *terreux* et le guano *ammoniacal* ont une même origine : les déjections et les dépouilles des oiseaux de mer. La disparition de l'ammoniaque dans le premier est due à l'abondance et à la fréquence des pluies qui favorisent la décomposition des substances organiques, la dissolution des sels à base d'ammoniaque et leur transport vers la mer. La partie du littoral de la mer du Sud où se trouve le guano ammoniacal offre, en effet, cette particularité que, sur une étendue considérable, depuis Tumbes jusqu'au désert d'Atacama, la pluie est pour ainsi dire inconnue, tandis qu'en dehors de ces limites, il pleut presque sans interruption. Il n'y a pas d'orage sur la côte péruvienne; un habitant de Lima, dit M. Boussingault, dans un mémoire d'où nous extrayons textuellement tous ces détails sur le guano, s'il n'a pas voyagé, n'a aucune idée du tonnerre. Les trois îles de Chincha, situées au 13° de latitude australe, sont les plus riches en guano ammoniacal. (1)

Pour que le guano ammoniacal ait été accumulé en aussi énormes quantités dans les *huaneras*, il a fallu un concours de circonstances aussi favorables à sa production qu'à sa conservation : l'absence de cours d'eau capables d'éroder le sol et d'enlever le guano à mesure qu'il se forme; un climat d'une

(1) Composition moyenne du guano ammoniacal des îles Chincha, d'après les analyses faites au Conservatoire des arts et métiers.

Matières organiqnes et sels ammoniacaux	52,52
Phosphate de chaux insoluble	19,52
Acide phosphorique	3,12
Sels alcalins, etc.	7,56
Silice et sable	1,46
Eau	15,82

sécheresse exceptionnelle, sous lequel les oiseaux n'aient pas à se garantir de la pluie; des accidents de terrain offrant des crevasses, des anfractuosités où ils puissent se reposer, pondre et couver à l'abri des fortes brises du sud; enfin, une côte où le poisson est plus abondant qu'en aucun autre point du globe et où ces oiseaux peuvent trouver une nourriture facile (1).

Le guano est en couches le plus souvent horizontales, mais dans quelques localités, ces couches sont fortement inclinées. Il forme des amas qui ont jusqu'à dix et même trente mètres d'épaisseur. Il renferme quelquefois des œufs pétrifiés, des plumes, des ossements et même des oiseaux momifiés. Il y a deux variétés de guano ammoniacal : la *blanche*, que les déjections des oiseaux forment actuellement; la *brune*, d'une odeur fétide, qui date d'une époque très ancienne. Une des huaneras du Pérou présente la disposition suivante qui témoigne d'une grande ancienneté : on y voit des couches horizontales de guano qui supportent un dépôt de 3 mètres de puissance, appartenant à l'alluvion ancienne et dans lequel on trouve des empreintes de coquilles marines; sur cette alluvion sont placées plusieurs strates de guano recouvertes par le sable de l'alluvion moderne.

(1) Du temps des Incas, comme aujourd'hui, la loi protégeait les oiseaux producteurs du guano. Ces oiseaux sont désignés par les habitants du pays sous le nom de *guanaes*. Ce sont, en général, des hérons, des flamants, des cormorans, etc. « Quelquefois, » écrivait A. de Ulloa, un des navigateurs espagnols qui accompagnèrent les académiciens français à l'équateur, « ils forment, en s'élevant des îles, comme un nuage qui obscurcit le soleil. Ils mettent une heure et demie à deux heures pour passer d'un endroit à un autre, sans qu'on voie diminuer leur multitude. On a observé, au Callao, que les oiseaux qui se gîtent dans les îles situées au nord de ce port, vont dès le matin faire leur pêche du côté du sud, et reviennent le soir dans les lieux d'où ils sont partis; quand ils commencent à traverser le port, on n'en voit ni le commencement ni la fin. »

Intervention du fer dans les phénomènes géologiques d'ordre organique. — On a vu que les substances minérales qui jouent le plus grand rôle soit dans la fossilisation des débris de corps organisés, soit dans la formation des roches d'origine inorganique, sont la silice, le carbonate de chaux et le fer à l'état de sulfure, d'hydrate et de peroxyde. Ces substances sont amenées de l'intérieur de l'écorce terrestre par l'intermédiaire des sources ou proviennent de la décomposition des roches soumises à l'influence des agents atmosphériques. Elles sont entraînées par les eaux pluviales, les rivières, les fleuves, vers l'océan, où elles se trouvent en si faible proportion que l'analyse chimique ne peut pas toujours dénoter leur présence; mais les animaux marins savent se les approprier et les accumuler dans leurs tissus, surtout dans ceux qui doivent posséder une certaine dureté.

Le fer n'entre pas dans la composition du corps des animaux marins en aussi grande proportion que la silice et le carbonate de chaux, mais il imprègne fréquemment leurs débris lorsqu'ils sont en voie de fossilisation.

A l'état de sulfure, il est fréquemment disséminé dans les roches en particules invisibles, en cristaux, en masses mamelonnées; à l'état de peroxyde ou d'hydrate, il peut même constituer, presque à lui seul, des assises entières. Quel que soit le rôle qu'il joue, il se trouve souvent placé sous l'influence des forces vitales qui l'attirent sur certains points, le repoussent sur d'autres, et, dans un grand nombre de cas, coopèrent à ses changements de combinaisons. Le fer, étudié comme intervenant dans les phénomènes d'ordre organique qui s'accomplissent à la surface du globe, donne lieu à diverses remarques qui n'ont pu trouver place dans les chapitres suivants et que je crois devoir consigner ici en terminant ce dixième livre.

Action de l'acide carbonique sur les substances ferrugineuses. — L'acide carbonique, tenu en dissolution dans les eaux qui circulent à travers la terre végétale et la partie superficielle de l'écorce terrestre, doit exercer, sur les accumulations de fer limoneux, une influence qui est démontrée par la facilité avec laquelle cet acide décolore les roches ferrugineuses à travers lesquelles il pénètre. L'acide carbonique se combine avec le fer destiné à être éliminé, l'entraîne et puis l'abandonne. Il se passe, dans ce cas, un phénomène absolument semblable à celui qui a été décrit, lorsqu'il a été question du calcaire concrétionné (tome I, page 334). Les particules ferrugineuses, une fois abandonnées par l'acide carbonique, exercent sur elles mêmes une attraction mutuelle et vont s'accumuler sous forme de petites couches ou de rognons concrétionnés (tome I, page 503).

L'action exercée par l'acide carbonique sur les substances ferrugineuses permet de penser que les plantes, à l'état vivant ou lorsqu'elles entrent en décomposition, sont le siége d'une élimination exercée sur ces matières ferrugineuses. D'après M. Daubrée, « la décoloration d'argiles et de sables ferrugineux par les racines des plantes en putréfaction s'observe sur de vastes étendues dans la plaine du Rhin et en Lorraine ; une racine située dans l'argile sableuse enlève le fer en général jusqu'à une distance de 1 à 5 centimètres ; si le terrain est très perméable comme le sont les sables, cette dissolution donne plus bas naissance à de nombreuses sources ferrugineuses. » On conçoit que l'acide carbonique qui se dégage d'une masse tourbeuse doit reproduire ces effets sur une plus large échelle et déterminer, à la longue, une concentration assez considérable de fer au fond des eaux marécageuses où se forme la tourbe.

Formation et décomposition successives des pyrites. — Ce que j'ai

dit au sujet des filons (tome II, page 214) fait voir que le fer arrive fréquemment de l'intérieur du globe à l'état de sulfure; d'un autre côté, la pyrite de fer se trouve répandue dans un grand nombre de roches sédimentaires ou éruptives. Mais l'action oxydante de l'atmosphère s'exerce sans cesse, soit sur la partie supérieure des filons ferrugineux, soit sur la pyrite disséminée dans les roches; elle transforme le fer sulfuré, tantôt en fer oxydé ou hydraté, tantôt en sulfate. Le fer sulfaté est soluble dans l'eau; il est entraîné par les rivières et les fleuves vers l'océan où les substances animales en décomposition le réduisent de nouveau et le ramènent, en lui enlevant son oxygène, à l'état de sulfure. « Une cruche de terre, contenant plusieurs litres de sulfate de fer en dissolution, avait été oubliée et laissée dans un coin d'un laboratoire, depuis douze mois environ. Au bout de ce temps, lorsqu'on examina la liqueur, on remarqua sur la surface une sorte de corps huileux, et une poudre jaunâtre que l'on reconnut être du soufre. On découvrit, au fond de la cruche, des ossements de souris, au milieu d'un sédiment contenant de petits grains de pyrite, des parcelles de soufre, du sulfate vert de fer cristallisé, enfin un oxyde de fer noir et vaseux. Il devint évident que quelques souris étaient accidentellement tombées dans la cruche, et que, par l'action mutuelle de la matière animale et du sulfate de fer, le sulfate métallique avait été dépouillé de son oxygène; ce qui avait amené la précipitation des pyrites et des autres composés. Ce phénomène montre comment les eaux minérales, chargées de sulfate de fer, peuvent se désoxyder lorsqu'elles se trouvent en contact avec de la matière animale en voie de putréfaction; comment, atome par atome, les pyrites peuvent se former. » Sir Lyell, *Manuel de Géologie Elémentaire* (1).

(1) Le soufre se combine en deux proportions avec le fer. Il y a un *sulfure*

MM. Malaguti et Durocher ont fait à propos de cette réduction du sulfate de fer les remarques suivantes : « Il est présumable que le soufre de la pyrite provient de la réduction des sulfates en présence des matières organiques; c'est donc dans les dépôts marins qu'il y a le plus de chances de trouver du sulfure de fer. Nous avons expérimenté sur une sorte de marne bleuâtre qui se dépose journellement, un peu au dessous du niveau de la haute mer, sur le rivage situé à l'est de Saint Malo. Abstraction faite d'une petite quantité de sels solubles, cette matière contient 2,32 % de carbonate de chaux, 12,38 d'argile et 85,05 de sable fin, micacé. Nous y avons constaté, par l'analyse chimique, la présence de deux millièmes et demi de bisulfure de fer. La coloration bleuâtre de ce dépôt d'alluvion est due très probablement à la pyrite de fer qui s'y trouve disséminée, car il suffit de chauffer pendant quelques minutes au contact de l'acide chlorhydrique pour le décolorer. Quand on le dessèche dans le vide, il présente un aspect moucheté; des parties d'une couleur plus foncée forment çà et là des taches sur un fond d'une teinte plus pâle; ainsi, quoique dissé-

simple (FeS) lequel ne se rencontre jamais dans la nature à l'état isolé; il y a, en outre, un *bisulfure* (FeS^2) dont il existe deux variétés. Ces deux variétés ont l'éclat métallique, font feu au briquet et donnent à la flamme d'une bougie une odeur de soufre. La pyrite *jaune* a pour forme primitive le cube; elle est couleur d'or, mais sa poussière est d'un vert noirâtre. La pyrite *blanche* dérive d'un prisme rhomboïdal droit; elle est un peu moins dense que la variété précédente; sa coloration varie du blanc jaunâtre au verdâtre livide. Les deux variétés de pyrite se décomposent à l'air, mais la variété jaune résiste bien plus que la variété blanche à l'action décomposante de l'air atmosphérique. On exploite par lixivation les sulfates qui proviennent de la décomposition naturelle des pyrites blanches. C'est à la chaleur dégagée par cette décomposition que l'on attribue quelquefois l'inflammation des houillères (voir tome II, page 130). Cette propriété de donner origine à un dégagement de chaleur et celle de faire feu au briquet expliquent doublement le nom de pyrite donné au bisulfure de fer.

minée au milieu de la masse, la pyrite de fer se trouve accumulée en plus grande abondance autour de certains points, qui peut-être sont destinés à devenir plus tard le centre de nodules pyriteux. La pyrite de fer ne se produit pas dans les alluvions exclusivement formées de sable; de même, il est rare d'en trouver dans les roches de grès quartzeux pur : c'est que, au moment où ce minéral vient à se former, il est très susceptible de s'altérer en absorbant l'oxygène; sa conservation n'est donc facile que dans les dépôts peu perméables (1). »

L'action chimique que la matière animale en décomposition exerce sur le sulfate de fer dissous dans l'eau de mer s'explique par la quantité considérable de carbone contenue dans ces matières et par l'affinité que ce carbone, au moment où il se dégage à l'état naissant de ses combinaisons, doit avoir pour l'oxygène. Il semble que le phénomène de la respiration persiste dans les tissus de l'animal, même lorsque celui-ci a cessé de vivre.

Je viens de rendre compte de la manière dont le sulfure de fer se produit au sein de l'océan et imprègne les roches en voie de formation. Ces roches, une fois constituées, sont tôt ou tard émergées, puis mises en contact avec l'air atmosphérique. Les pyrites s'oxydent alors de nouveau, se transforment en sulfate que les mêmes circonstances ramèneront encore à l'état de sulfure. Il y a, dans ce phénomène, une sorte de mouvement de va et vient qui date du commencement des temps géologiques et qui persistera tant que les phénomènes actuels auront leur cours. Ce que nous avons dit des substances fossilisantes et de leur manière de se comporter explique, en outre,

(1) C'est à la présence du bisulfure de fer qu'est due la coloration en bleu noirâtre de certaines roches et notamment du cornsbrash des environs de Besançon. (Voyez tome I, page 494.)

comment les débris fossiles d'animaux et de végétaux deviennent des centres d'attraction pour les matières pyriteuses, une fois que celles-ci ont imprégné la masse où ces débris sont renfermés.

Fer des marais, des prairies, des gazons et des tourbières; fer vitreux, limoneux ou résineux. — Les diverses désignations données à ce minerai, qui a déjà attiré notre attention (tome I, page 473), disent assez quels sont ses gisements habituels et son aspect. Il se dépose journellement dans les marais, ainsi que dans les fossés et les lacs. Rarement il est enfoui dans le sol au delà d'un mètre de profondeur; son épaisseur, qui ne dépasse jamais un mètre, est souvent moindre. Du gazon, des bruyères, du sable, du limon et fréquemment de la tourbe le recouvrent. Le minerai du fond des lacs est souvent en grains isolés, ronds, réguliers, de la grosseur d'une tête d'épingle jusqu'à celle d'un œuf d'oie; sa cassure est feuilletée et présente des couches concentriques; on le rencontre aussi en galets plats.

Le fer dont il est ici question est amené par les sources; quelquefois il résulte de la décomposition des roches superficielles. Une partie de ce fer est entraînée vers l'océan; l'autre se dépose dans les dépressions du sol où l'eau s'accumule, dans les marais et dans les lacs que les fleuves et les rivières traversent. Le dépôt de ce fer s'effectue dans les circonstances les plus propices lorsque l'eau qui l'a charrié devient stagnante ou ne se renouvelle qu'avec lenteur; c'est également dans ces conditions que la formation de la tourbe est la plus active. Aussi, les localités où existent les tourbières sont celles où se montrent ordinairement les dépôts de fer limoneux.

Dans les gisements ferrugineux que nous avons en vue, le fer, contrairement à ce qui se passe au fond de l'océan, existe

rarement à l'état de sulfure. Cette régénération des pyrites, que j'ai signalée tout à l'heure, ne peut s'y produire pour deux motifs. Dans les amas d'eau douce, marais, lacs, rivières, etc., les animaux sont moins nombreux qu'au fond de l'océan, et, par conséquent, la matière animale en décomposition est moins abondante. En outre, le sulfate de fer, à cause de sa solubilité, ne séjourne pas dans les lacs, les marais et les rivières; il ne fait qu'y passer, tandis que le fer hydraté, qui est insoluble, s'y accumule.

Le fer des marais est d'origine récente puisqu'on le trouve toujours au dessus du terrain diluvien; fréquemment même il renferme des débris de l'industrie humaine. Il est probable qu'il s'en est formé à toutes les époques, et que les anciens gisements ont été détruits en même temps que la terre végétale.

Fer carbonaté des houillères. — Il existe, dans la nature, deux variétés de *sidérose* ou *fer carbonaté*: l'une a son gisement habituel dans les filons et se distingue par sa texture cristalline qui lui a valu son nom de fer carbonaté *spathique*, l'autre a une origine sédimentaire: c'est le fer carbonaté *lithoïde*. Ce dernier se rencontre dans diverses formations, par exemple, dans le lias supérieur de Milhau (Aveyron), dans le terrain oxfordien de La Voulte (Ardèche), où il est mêlé au fer oxydé, dans le terrain nummulitique de la Toscane, etc.

Le fer carbonaté lithoïde accompagne fréquemment la houille et il n'existe même avec quelque abondance que dans les houillères. La présence simultanée, dans les mêmes localités, du combustible et de ce minerai est la principale cause de la richesse de certains bassins houillers; c'est à cette circonstance que l'Angleterre doit sa suprématie dans l'industrie métallurgique.

Il me paraît naturel d'attribuer au fer carbonaté lithoïde la même origine que pour le fer des tourbières. Lorsqu'il s'est déposé dans les marais où la houille se formait, il était amené par les sources ferrugineuses, alors plus abondantes qu'elles ne le sont aujourd'hui ; il provenait aussi de la décomposition des roches superficielles contenant du fer. Il s'est accumulé en lits irréguliers, en masses informes, et en rognons dont l'origine a été à tort attribuée à l'action mécanique des eaux. Ces rognons sont quelquefois caverneux et tapissés intérieurement de cristaux lenticulaires bruns. Ils sont aplatis; leur cassure présente des zones concentriques; en un mot, ils ont une structure semblable à celle des rognons de fer des marais, mais ils se montrent plus abondants et plus volumineux; les phénomènes qui s'accomplissaient dans les bassins houillers devaient, plus tard, se reproduire dans les tourbières, mais sur une échelle plus restreinte (Livre XI, chap. III.) Si dans les houillères le fer existe à l'état de carbonate plutôt que d'hydrate, cette différence peut provenir de ce que les sources ferrugineuses l'amenaient à l'état de combinaison avec l'acide carbonique. Mais il est probable aussi que l'acide carbonique qui se dégageait de la houille était plus abondant que celui que la tourbe laisse échapper, et que le passage du fer hydraté à l'état de fer carbonaté résultait de cette plus grande abondance de l'acide carbonique autour des débris de végétaux en voie de se transformer en combustible.

LIVRE ONZIÈME.

COMBUSTIBLES FOSSILES

ET ROCHES CARBONÉES.

CHAPITRE I.

ORIGINE DES ROCHES CARBONÉES ; LEUR MODE DE FORMATION AU POINT DE VUE CHIMIQUE.

Des combustibles et des roches carbonées en général. — Origine végétale des combustibles; idées anciennement émises à ce sujet. — Procédés employés dans l'industrie pour la carbonisation du bois. — Expériences de MM. Fournet, Cagniard de la Tour, Gœppert, Violette, Daubrée, Baroulier. — Transformation, dans la nature, du ligneux en humus et en acide ulmique. — Carbonisation naturelle; la nature n'a pas recours à la chaleur, elle remplace cet agent par le temps. — Applications de ce principe. — Rôle joué par la pression dans la carbonisation.— Métamorphisme des combustibles. — Origine du graphite, du diamant et des hydrocarbures.

Des combustibles et des roches carbonées en général. — Sous le nom de *combustibles*, on réunit quelquefois en minéralogie les substances susceptibles de brûler ; à ce titre, le soufre est un combustible. Mais la désignation de combustibles est affec-

Il me paraît naturel d'attribuer au fer carbonaté lithoïde la même origine que pour le fer des tourbières. Lorsqu'il s'est déposé dans les marais où la houille se formait, il était amené par les sources ferrugineuses, alors plus abondantes qu'elles ne le sont aujourd'hui ; il provenait aussi de la décomposition des roches superficielles contenant du fer. Il s'est accumulé en lits irréguliers, en masses informes, et en rognons dont l'origine a été à tort attribuée à l'action mécanique des eaux. Ces rognons sont quelquefois caverneux et tapissés intérieurement de cristaux lenticulaires bruns. Ils sont aplatis ; leur cassure présente des zones concentriques ; en un mot, ils ont une structure semblable à celle des rognons de fer des marais, mais ils se montrent plus abondants et plus volumineux ; les phénomènes qui s'accomplissaient dans les bassins houillers devaient, plus tard, se reproduire dans les tourbières, mais sur une échelle plus restreinte (Livre XI, chap. III.) Si dans les houillères le fer existe à l'état de carbonate plutôt que d'hydrate, cette différence peut provenir de ce que les sources ferrugineuses l'amenaient à l'état de combinaison avec l'acide carbonique. Mais il est probable aussi que l'acide carbonique qui se dégageait de la houille était plus abondant que celui que la tourbe laisse échapper, et que le passage du fer hydraté à l'état de fer carbonaté résultait de cette plus grande abondance de l'acide carbonique autour des débris de végétaux en voie de se transformer en combustible.

LIVRE ONZIÈME.

COMBUSTIBLES FOSSILES

ET ROCHES CARBONÉES.

CHAPITRE I.

ORIGINE DES ROCHES CARBONÉES ; LEUR MODE DE FORMATION AU POINT DE VUE CHIMIQUE.

Des combustibles et des roches carbonées en général. — Origine végétale des combustibles; idées anciennement émises à ce sujet. — Procédés employés dans l'industrie pour la carbonisation du bois. — Expériences de MM. Fournet, Cagniard de la Tour, Gœppert, Violette, Daubrée, Baroulier. — Transformation, dans la nature, du ligneux en humus et en acide ulmique. — Carbonisation naturelle; la nature n'a pas recours à la chaleur, elle remplace cet agent par le temps. — Applications de ce principe. — Rôle joué par la pression dans la carbonisation.— Métamorphisme des combustibles. — Origine du graphite, du diamant et des hydrocarbures.

Des combustibles et des roches carbonées en général. — Sous le nom de *combustibles*, on réunit quelquefois en minéralogie les substances susceptibles de brûler ; à ce titre, le soufre est un combustible. Mais la désignation de combustibles est affec-

Origine végétale des combustibles fossiles. — Pour démontrer l'origine végétale des combustibles, on s'appuie sur les faits suivants :

1° Il existe un passage insensible entre le bois des arbres encore debout des forêts et l'anthracite; ce passage est établi par les diverses variétés de tourbe, de lignite et de houille.

2° On observe fréquemment, dans un même échantillon, une partie qui est à l'état de combustible parfait et une autre partie qui a conservé tout à la fois l'aspect du ligneux et des traces de son organisation primitive.

3° On rencontre souvent dans les strates, surtout dans celles du terrain houiller, des tiges, des parties d'écorce, des feuilles qui, tout en conservant la forme qu'elles avaient en premier lieu, sont entièrement transformées en matière charbonneuse.

Ce qui doit achever de faire pénétrer dans notre esprit la conviction que les combustibles résultent de la transformation de matières végétales, c'est que, en partant de ce principe, tout devient facilement explicable quand on recherche comment la houille, le lignite et la tourbe se sont constitués. Le problème, au contraire, resterait insoluble, tant que l'on s'en tiendrait aux idées émises, pendant le siècle dernier, relativement à l'origine des combustibles. Pourtant, on aurait tort de penser que toutes les théories formulées avant notre siècle relativement à la formation de la houille sont tout à fait absurdes. On peut trouver en elles quelques idées justes, mais incomplètes ou faussement appliquées.

D'après Patrin, auteur d'une *Histoire naturelle des minéraux* publiée en 1801, les volcans rejetteraient des matières bitumineuses qui, reçues dans les eaux de l'océan, iraient s'y mélanger avec du sable pour former des dépôts plus ou moins étendus; plus tard, le sable et le bitume tendraient à se sépa-

rer pour former des masses distinctes : une couche de houille se constituerait à la faveur de cette concentration des parties bitumineuses et se trouverait, ainsi qu'on l'observe dans les houillères, resserrée entre deux bancs de grès résultant de l'accumulation des parties sableuses. Le bitume irait également imprégner les troncs d'arbres flottants, et, en augmentant leur densité, les obligerait à se déposer sur les bancs de houille préexistants, ce qui expliquerait pourquoi ces bancs sont fréquemment recouverts de troncs d'arbre. On voit que si Patrin s'était trompé sur l'origine de la houille, il avait deviné juste en accordant aux bitumes une origine volcanique. — En 1795, Hutton admettait que les substances végétales sont charriées par les courants fluviatiles et marins au fond de l'océan, où des matières sableuses et argileuses viennent ensuite les recouvrir. La transformation de cette matière végétale en charbon minéral serait déterminée par la chaleur centrale qui en opérerait presque la fusion; elle serait favorisée par la pression des masses sous jacentes qui s'opposeraient au dégagement des matières volatiles.. Les idées de Hutton sur l'origine des combustibles fossiles sont celles qui règnent aujourd'hui : l'observation a seulement démontré que l'intervention d'une haute température, favorable dans certaines circonstances à la formation du combustible, n'était pourtant pas indispensable; elle a même fait voir que tous les combustibles se sont constitués à la température qui règne à la surface du sol.

Avant de décrire les actions chimiques qui ont eu pour résultat la transformation des végétaux en combustibles fossiles, je dois, pour établir les bases de la théorie que je vais exposer : 1° rappeler les procédés employés dans l'industrie pour la carbonisation du bois; 2° mentionner les principales expériences qui ont été faites par divers savants pour retrou-

ver les conditions dans lesquelles la nature a opéré ; 3° indiquer ce qui se passe sous nos yeux lorsque des débris de végétaux sont accumulés soit à la surface du sol, soit au fond des eaux.

Procédés employés dans l'industrie pour la carbonisation du bois. — Les deux principaux de ces procédés sont la carbonisation « en meules, » et la carbonisation « en vase clos ; » dans un cas et dans l'autre, on a recours à une haute température.

Dans le premier procédé, des branches d'arbre sont empilées les unes sur les autres de manière à former une meule que l'on recouvre de feuilles, de terre et de détritus charbonneux provenant des carbonisations antérieures. Le feu étant mis à la meule, des gaz se dégagent par les ouvertures que l'on a pratiquées sur son pourtour ; ces gaz sont de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone produits par la combustion vive du charbon et par la calcination du bois, de l'hydrogène, de la vapeur d'eau, plusieurs matières organiques formées par la distillation du bois et, parmi elles, l'acide acétique, l'esprit de bois et les matières goudronneuses. Lorsque l'opération est terminée, on ferme les ouvertures et on laisse le feu s'éteindre. Tous les éléments qui existent dans le bois ont disparu, à l'exception d'une partie du carbone et des substances inorganiques destinées à être retrouvées sous la forme de cendres. Par le procédé qui vient d'être indiqué, le bois donne environ 15 pour cent de carbone; plus du tiers du carbone qu'il contenait a été brûlé pendant l'opération.

Lorsqu'on effectue la carbonisation en vase clos, on retire 25 à 30 pour cent de charbon; on peut, en outre, recueillir les gaz et les liquides qui se dégagent pendant la distillation.

Expériences de MM. Fournet, Cagniard de la Tour, Gœppert, Violette, Daubrée, Baroulier. — « En 1835, » dit M. Fournet, « j'ai été amené à fabriquer artificiellement, sinon de la houille, du moins quelque chose d'approchant, en déterminant entre les molécules du ligneux une réaction du genre de celles que je supposais avoir dû se produire dans la nature. Tout se réduisait à enfermer un morceau de bois dans un tube hermétiquement scellé. Mais on conçoit qu'en procédant ainsi, l'opération n'aurait point eu de terme; il fallait mettre les principes organiques en mouvement, et, pour remplacer le mouvement intestin qu'il m'était impossible d'obtenir à froid, j'ai eu recours à la chaleur. Malheureusement mon tube, qui était en fer, fut troué par quelque pyrite contenue dans le coke dont je m'étais servi pour le chauffer, de façon que mon essai se trouva manqué. Vers cette époque, je fis part de mes idées à M. Cagniard de la Tour qui s'empressa de les mettre en exécution à l'aide des tubes de verre dont le maniement lui était familier. Il obtint ainsi une fusion de bois, dont il résulta un bitume accompagné d'une certaine quantité de gaz » (1).

C'est peu de temps après que M. Gœppert fit, sur la transformation des fougères soumises à une forte température, les expériences qui ont déjà été relatées (*antè*, page 25).

En 1848, M. Violette, commissaire des poudres, commença, sur la carbonisation du bois, une série de recherches dont j'aurai tout à l'heure à mentionner les principaux résultats. Il constata notamment que le bois enfermé dans un vase entièrement clos et exposé à la chaleur de 300 à 400 degrés, éprouve une véritable fusion; il coule, s'aglutine et adhère au vase. Après le refroidissement, il a perdu toute texture organique et

(1) Voyez, tome I, page 172, ce qui a été dit sur l'emploi des tubes pour obtenir à la fois une température très élevée et une forte pression.

ne présente qu'une masse noire, miroitante et caverneuse. Il ressemble entièrement à de la houille grasse qui a éprouvé un commencement de fusion.

M. Daubrée s'est également livré à des expériences dont il rend compte de la manière suivante : « En soumettant des fragments de bois à l'action de l'eau surchauffée, je les ai transformés, au milieu même de l'eau, en lignite, en houille ou en anthracite, selon la température; j'ai obtenu, en outre, des produits liquides ou volatils ressemblant aux bitumes naturels et possédant jusqu'à l'odeur caractéristique du pétrole de Bechelbronn. Des fragments de bois de sapin se sont transformés, dans l'eau surchauffée et sous une forte pression, en une masse noire, douée d'un vif éclat, d'une compacité parfaite, ayant, en un mot, l'aspect d'un anthracite pur, et assez dur pour qu'une pointe d'acier le raye difficilement. Cette sorte d'anthracite, bien qu'infusible, est entièrement granulée sous forme de globules réguliers de diverses dimensions, d'où il résulte clairement que la substance a été fondue en se transformant; elle ne donne par calcination que des traces de substances volatiles; la matière ligneuse y est donc arrivée à son plus haut degré de décomposition. Cette matière, qui n'est que du carbone très compacte, ne se consume qu'avec une excessive lenteur, même sous le dard oxydant du chalumeau; elle diffère des charbons formés à haute température, en ce qu'elle ne conduit pas l'électricité, non plus que le diamant. »

En 1858, M. Baroulier a imaginé, à Saint-Etienne, un appareil au moyen duquel on peut exposer des matières végétales enveloppées d'argile humide et fortement comprimées à des températures longtemps soutenues, comprises entre 200 et 300 degrés. Cet appareil, sans être absolument clos, met obstacle à l'échappement des gaz et des vapeurs, de sorte que la

décomposition des matières organiques s'opère dans un milieu saturé d'humidité, sous une pression qui s'oppose à la dissociation des éléments dont elles se composent. En plaçant dans ces conditions de la sciure de bois de diverses natures, l'auteur de l'expérience a obtenu des produits dont l'aspect et toutes les propriétés rappellent tantôt les houilles brillantes, tantôt les houilles ternes. Ces différences tiennent d'ailleurs soit aux conditions de l'expérience, soit à la nature même du bois employé. Des tiges et des feuilles de plantes couchées entre les lits d'argile laissent dans les mêmes circonstances un enduit charbonneux et des empreintes tout à fait comparables à celles des schistes houillers.

Transformation, dans la nature, du ligneux en humus et en acide ulmique. — Le bois, mis à l'abri du contact de l'humidité, se conserve pendant très longtemps, ainsi que nous pouvons en juger par les meubles de nos appartements. Mais ces conditions exceptionnelles de conservation ne persistent pas indéfiniment. Tôt ou tard, le bois finit par être placé sous l'influence de l'air humide; c'est ce qui a lieu dans les forêts et à la surface du sol dès qu'un végétal a cessé d'exister. Les débris de végétaux se décomposent; une partie de leurs éléments retourne dans l'atmosphère à l'état gazeux; le ligneux lui même disparaît en se combinant avec l'oxygène de l'air et en passant, par suite d'une combustion lente, à l'état d'acide carbonique.

« Tous les végétaux, dès qu'ils cessent de vivre, sont sujets à deux espèces de décomposition dont l'une porte le nom de « fermentation », et l'autre celui de « pourriture » ou de « combustion lente »; par cette dernière, les parties combustibles du corps en décomposition se combinent avec l'oxygène de l'air. Le ligneux, cette partie essentielle des végétaux, présente dans sa

pourriture un phénomène particulier : c'est qu'au contact de l'oxygène ou de l'air, il convertit l'oxygène en un volume égal d'acide carbonique : dès que l'oxygène disparaît, la pourriture s'arrête. Si on enlève cet acide carbonique, et qu'on le remplace par de l'oxygène, la pourriture s'établit de nouveau, et peu à peu cet oxygène est à son tour remplacé par de l'acide carbonique. Puisque le ligneux se compose de carbone et des éléments de l'eau, on peut dire, d'une manière générale, que sa pourriture est identique dans ses résultats avec la combustion du carbone pur à des températures fort élevées : ainsi, le ligneux se comporte, en brûlant lentement, comme si ni son hydrogène ni son oxygène ne se trouvaient combinés avec du carbone. L'accomplissement de ce phénomène de combustion exige un temps fort long ; la présence de l'eau en est également une condition indispensable. Les alcalis en favorisent les progrès, les acides les entravent ; toutes les matières antiseptiques, l'acide sulfureux, les sels mercuriels, les huiles empyreumatiques, etc., les arrêtent entièrement. » (Liebig.)

La décomposition du ligneux et sa transformation partielle en eau et en acide carbonique au contact de l'oxygène de l'air sont un cas particulier d'un phénomène plus général qui s'accomplit autour du globe. En vertu de ce phénomène, les substances mises en relation avec l'atmosphère tendent toujours à s'oxyder ; la présence de l'eau rend cette oxydation plus rapide, ainsi que le fer, se transformant en rouille, nous en montre un exemple. Cette oxydation se fait même sentir sur les combustibles fossiles placés au contact de l'air atmosphérique ; elle a notamment pour effet l'amincissement des bancs de houille sur toute l'étendue de leurs affleurements.

L'oxydation des végétaux a pour résultat la formation de l'*humus* sur lequel l'oxygène n'exerce plus qu'une influence

très faible et ne fait sentir son action qu'à de longs intervalles. L'humus est un des éléments essentiels du terreau ; c'est une substance brune ou noirâtre, presque insoluble dans l'eau, peu cohérente, analogue par sa composition à l'acide ulmique.

Je viens d'indiquer ce qui se passe lorsque le bois est abandonné à l'action de l'air atmosphérique. S'il est maintenu dans l'eau, il s'y conserve presque indéfiniment, ainsi que l'on peut en juger par les pilotis qui supportent les maisons de plusieurs villes et par les troncs d'arbres enfouis dans les tourbières. Mais, dans ce cas, les éléments du bois ne restent pas inertes; une partie de ces éléments disparaît de manière à rendre de plus en plus considérable la proportion du carbone qu'il renferme. D'un autre côté, l'oxygène contenu en dissolution dans l'eau détermine, en agissant sur le bois, un phénomène semblable à celui qui vient d'être décrit, mais se développant avec plus de lenteur. Puis les effets de cette « combustion humide » s'arrêtent comme ceux de la « combustion sèche » ou à l'air libre; ils laissent pour résultat une substance qui n'éprouve l'action comburante de l'oxygène que d'une manière insensible; cette substance est l'ulmine ou acide ulmique. L'*acide ulmique* est composé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène; ces deux derniers éléments se trouvent dans les proportions voulues pour faire de l'eau. C'est une substance noire, très fragile, à cassure vitreuse, ayant l'éclat du jayet. Elle est peu sapide et inodore; elle ne se dissout ni dans l'eau, ni dans l'éther; mais elle est très soluble dans l'alcool, dans l'acide sulfurique très concentré, dans l'acide acétique à chaud, dans les dissolutions de potasse; l'eau la précipite de ses dissolutions en se colorant en brun.

Les détails précédents nous font voir que la nature peut, sans recourir à une haute température, transformer les végé-

taux en des substances de plus en plus riches en carbone; ils ont, en outre, l'avantage de nous montrer que les débris de végétaux qui ont donné origine aux combustibles actuellement exploités avaient pu subir une première transformation avant leur enfouissement.

Résultats généraux de la transformation des végétaux en combustibles; carbonisation naturelle. — Lorsque, ainsi que nous l'avons fait pour les tableaux placés dans le chap. v, on range les combustibles fossiles par ordre d'ancienneté, on peut se faire une idée exacte de la marche que la nature a suivie en procédant à la transformation des débris de végétaux en combustibles.

On voit d'abord que chaque combustible, à mesure qu'il appartient à un terme plus avancé de la série, tend à devenir plus pauvre en oxygène et plus riche en carbone; l'hydrogène, dont la quantité relative reste d'abord à peu près la même, disparaît à son tour lorsqu'on arrive à la houille sèche; l'anthracite graphiteux n'en contient presque plus. Par conséquent, pendant que les débris de végétaux enfouis dans l'écorce terrestre se transforment de plus en plus, il y a augmentation dans la quantité relative de carbone que renferme la masse résultant de cette transformation; le carbone tend même à composer à lui seul cette masse, sans pouvoir parvenir complétement à ce résultat, ainsi que nous le verrons tout à l'heure. En même temps que l'expulsion de l'oxygène et de l'hydrogène s'accomplit, le carbone s'isole de plus en plus; les combustibles parfaits, la lignite, la houille, sont des mélanges de carbone pur avec divers carbures d'hydrogène qui disparaissent même, d'une manière complète, dans l'anthracite graphiteux.

La nature, lorsqu'elle transforme des débris de végétaux

soustraits à l'influence désorganisatrice de l'atmosphère, arrive au même résultat que l'homme lorsqu'il veut se procurer du charbon; elle carbonise ces débris de végétaux. Le phénomène que nous étudions est donc une véritable carbonisation naturelle qui se développe avec lenteur; il est soumis à des moments d'arrêt et chacun de ces moments d'arrêt correspond à une variété de combustible.

Dans le phénomène de la carbonisation naturelle, le temps remplit le rôle de la chaleur dans la carbonisation artificielle. Les procédés employés par l'industrie pour obtenir le charbon et les diverses expériences que j'ai relatées nous ont toujours montré la carbonisation du bois s'effectuant sous l'influence d'une température élevée. L'étude de tous les gisements de combustibles démontre, au contraire, que la nature n'a presque jamais eu recours à la chaleur pour opérer la carbonisation du ligneux et qu'elle s'en est tout au plus servi, dans une mesure insignifiante, pour exercer une action métamorphique au contact des roches éruptives, ou pour calciner quelques amas de bois placés à proximité d'un courant de lave. Mais la nature remplace l'action résultant d'une haute température par l'intervention d'un autre agent qui ne lui fait jamais défaut: c'est le « temps. » Les effets que nous obtenons dans nos laboratoires d'une manière plus ou moins rapide, lorsque nous mettons la chaleur en jeu, la nature emploie pour les produire plusieurs siècles, lorsqu'elle agit dans un milieu où la température est peu élevée.

Pour effectuer la carbonisation des végétaux, l'homme opère à chaud; la nature opère à froid. Mais, dans un cas et dans l'autre, la chaleur et le temps ne jouent qu'un rôle secondaire. Les véritables forces mises en œuvre sont les actions chimiques qui s'exercent spontanément sur le ligneux. La cha-

leur ne fait qu'activer ces actions chimiques; la nature, qui n'est jamais pressée, les laisse fonctionner avec lenteur.

Conséquences du principe précédent. Expériences de M. Violette. — Les recherches de M. Violette mettent en évidence toute l'exactitude du principe qui vient d'être posé. Les conclusions formulées par ce savant restent, en effet, les mêmes, lorsqu'on remplace les mots « température plus ou moins élevée » par ceux-ci « temps plus ou moins prolongé. »

a) A 200°, le bois ne carbonise pas; à 250°, on n'obtient qu'un charbon incuit, autrement dit, des brûlots; à 300°, on forme le charbon roux; à 350° et au delà, l'opération donne invariablement du charbon noir. De même, dans la nature, on passe du bois vivant au bois fossile ayant conservé sa coloration primitive, puis à un combustible invariablement noirâtre, quelle que soit sa nature, lignite, houille, anthracite. (1)

b) Les charbons étant allumés conservent leur ignition pendant une durée qui varie et décroît avec la température de leur carbonisation. Le charbon fait à 260° brûle le plus facilement et le plus longtemps; ceux faits aux températures comprises entre 1000° et 1500° se refusent à toute ignition et ne peuvent être brûlés. Des faits du même ordre s'observent dans la série des combustibles. Lorsque la flamme du lignite est éteinte, elle se couvre d'une cendre blanche et continue à brûler, ainsi que cela a lieu pour la braise. La houille se couvre bien aussi d'une cendre blanche, mais elle

(1) Le temps nécessaire à la carbonisation a varié, dans les expériences de M. Violette, de trois heures à une heure et demie; les produits sont passés progressivement du charbon roux au charbon noir. Dans l'appareil que ce savant a employé, la vapeur d'eau, portée à 300°, pénétrait dans le cylindre qui renfermait le bois, opérait la carbonisation de ce bois en l'échauffant, puis sortait du cylindre chargé des produits de la distillation.

cesse de brûler presque aussitôt. L'anthracite a besoin pour être mis en ignition d'une ventilation très active. Le graphite ne brûle que très difficilement par l'action de la flamme extérieure du chalumeau.

c) La quantité de gaz contenus dans le charbon varie avec la température de la carbonisation : à 250°, elle est la moitié du poids du charbon ; à 300°, le tiers ; à 350°, le quart ; à 400°, le vingtième ; à 1500°, le centième environ. Le charbon contient toujours des gaz et la plus haute chaleur ne peut l'en dépouiller. De même, dans la série des combustibles, on voit la quantité de matières gazeuses qu'ils renferment diminuer à mesure qu'ils sont plus anciens, mais, quelque soit leur âge, ils en contiennent toujours ; le graphite le plus pur, celui qui est employé dans la fabrication des crayons Brookmann, en renferme 2, 5 pour cent.

d) Le charbon contient du carbone en quantité proportionnelle à la température de la carbonisation : à 250°, il en renferme 65 °/₀ ; à 300°, 73 °/₀ ; à 400°, 80 °/₀ et, au delà de 1500°, 96 °/₀ environ, sans qu'il ait été possible de le transformer en carbone pur, même à la plus haute température qu'il ait été possible de produire, celle de la fusion du platine. La quantité de carbone contenue dans les combustibles fossiles est également en raison de leur ancienneté ; aucun d'eux ne nous montre le carbone à l'état de pureté. Ni la chaleur, ni le temps ne peuvent donc transformer les débris de végétaux en carbone pur.

e) Le carbone, que le bois contient normalement, se divise dans l'acte de la carbonisation en deux parties dont l'une reste dans le charbon, et l'autre s'échappe avec les matières volatiles. Ce partage est variable avec la température de la carbonisation ; à 250°, le carbone qui reste dans le charbon est le double

de celui qui s'est échappé ; entre 300° et 350°, les deux parties sont égales et, au delà de 1500°, la quantité de carbone échappé est double de celle restée dans le charbon. Le même phénomène se produit dans la carbonisation naturelle. Une certaine quantité de carbone disparaît pendant que ce phénomène se développe, et cette quantité est ordinairement d'autant plus grande que ce combustible est plus ancien ou, en d'autres termes, appartient à un terme plus avancé de la série.

Rôle joué par la pression dans la carbonisation artificielle ou naturelle. — Les procédés industriels et les diverses expériences que j'ai relatées conduisent à des résultats différents suivant les conditions dans lesquelles on opère. Dans l'essai fait par M. Baroulier, les gaz et les matières liquides qui font partie du bois ne peuvent se séparer du ligneux qu'en très minime proportion ; on obtient alors un combustible à peine dépouillé des matières goudronneuses et, par conséquent, très bitumineux. Mais, dans les autres cas, les matières volatiles ou liquides disparaissent tantôt pour se répandre dans l'air, tantôt pour se condenser dans des récipients, tantôt, enfin, pour imprégner l'eau surchauffée qui entoure le bois soumis à l'expérimentation ; le bois donne alors un véritable charbon ou un combustible renfermant peu de substances gazeuses.

La carbonisation naturelle peut s'effectuer dans des circonstances qui varient de la même manière et aboutir à des résultats distincts, suivant que la pression qui s'exerce sur les débris de végétaux est plus ou moins forte. Cette pression est déterminée soit par la nappe d'eau au fond de laquelle ces débris sont accumulés, soit par le sable, le limon et le gravier qui viennent les recouvrir en bancs plus ou moins épais. Elle a d'abord pour effet de favoriser la transformation des

végétaux parce qu'elle rapproche les unes des autres les molécules dont ils sont formés; elle s'oppose à ce que les substances gazeuses résultant du travail chimique de la carbonisation disparaissent; elle empêche, enfin, l'air atmosphérique d'arriver au contact du combustible. Si la pression est faible, si toute communication entre l'atmosphère et la masse végétale en voie de se carboniser n'est pas interrompue, si des cavités ou des eaux courantes se trouvent en contact avec cette masse végétale, celle-ci, de plus en plus appauvrie de ses éléments gazeux, passe à l'état de combustible sec, de houille maigre ou d'anthracite, par exemple.

Métamorphisme des combustibles. — Tous les combustibles fossiles, sans exception, résultent d'une transformation graduelle et plus ou moins complète de matières végétales; par conséquent, tous devraient être considérés comme des roches métamorphiques, si l'on donnait au mot métamorphisme un sens aussi étendu que le comporte son étymologie; mais, évidemment, il ne saurait en être ainsi. On doit admettre qu'un combustible a subi une action métamorphique dans les cas seulement où une roche éruptive, constituant un foyer de chaleur, est venue se placer dans son voisinage, et lui a imprimé d'autres caractères que ceux qu'il aurait sans son influence. Plusieurs géologues voient dans l'anthracite une roche qui a été primitivement de la houille et qui s'est ensuite débituminisée sous l'influence de la chaleur centrale; si le lecteur se rappelle ce que nous avons dit sur le métamorphisme normal, il comprendra combien il nous est impossible d'adopter cette manière de voir. Nous devrons donc nous borner à examiner les effets du métamorphisme de contact.

« Lorsque les laves empâtent des morceaux de bois, elles le

changent plus ou moins en charbon ; quelquefois, cependant, il se forme une sorte de charbon roux. L'examen d'un bois carbonisé, empâté dans les laves de l'Auvergne, m'a montré de plus que ce charbon peut être imprégné par des substances minérales et notamment par du carbonate de chaux et par de l'hydroxyde de fer. En basse Silésie, dans le gisement d'Altwaser, la houille s'est changée en anthracite prismatique au contact du porphyre ; cet anthracite renferme plus de 15 °/₀ de cendres formées en grande partie par l'hydrate de fer. Jusqu'à présent, on n'a pas signalé de coke au contact des roches granitiques. — Quelquefois, le métamorphisme des roches trappéennes et des basaltes est nul ; à la Chaussée des Géants, une nappe de trapp s'est répandue sur une couche de lignite et ne lui a pas fait subir d'altération sensible. Mais presque toujours le combustible a subi, au contact des roches trappéennes, un métamorphisme qu'il est très facile de constater : 1° le combustible passe successivement au lignite, à la houille, à l'anthracite et même au graphite ; 2° le combustible perd ses matières bitumineuses, mais c'est par volatilisation ; aussi devient-il celluleux et se change-t-il en coke. Bien qu'il se soit enrichi en carbone, sa densité n'a pas augmenté ; lorsqu'il n'a pas été imprégné de substances minérales, elle a, au contraire, diminué. Dans le premier cas, il a pris une structure prismatique ; le combustible s'est pénétré de substances minérales ; aussi donne-t-il une grande quantité de cendres dont la proportion va en diminuant à mesure que l'on s'éloigne du point de contact. Le métamorphisme s'étend jusqu'à une distance qui est de plusieurs mètres et qui atteint 35 mètres près de Blyth, dans le Northumberland.» (Delesse.)

L'action métamorphique exercée par les roches éruptives sur les combustibles nous démontre une fois de plus que, dans la

carbonisation de la matière végétale, la chaleur et le temps remplissent le même rôle et peuvent se remplacer mutuellement.

Origine du graphite et du diamant. — L'anthracite montre, selon nous, le dernier terme dans cette série de transformations que les débris de végétaux peuvent éprouver lorsqu'ils sont placés à une faible profondeur et hors de l'atteinte de la chaleur dégagée par les roches éruptives. Les couches de combustible, placées dans le voisinage des roches de cette nature, éprouvent un surcroît de carbonisation qui les fait passer à une substance que les minéralogistes appellent graphite et qu'il nous paraît plus convenable de désigner sous le nom d'anthracite graphiteux.

Le graphite proprement dit a son gisement dans le terrain stratocristallin qui s'est déposé lorsque les végétaux n'existaient pas encore à la surface du globe ; son origine ne peut donc être végétale. Je ferai une remarque semblable pour le diamant qui a aussi pour gisement primitif le terrain stratocristallin et peut-être même le granite fondamental. La nature des roches où se trouvent le graphite et le diamant nous dit assez que ces deux substances ont une origine hydrothermale comme ces roches elles mêmes ou comme les pierres précieuses qu'on y rencontre. Toutefois, ce que l'on observe lorsque la fonte se refroidit permet de penser que le graphite peut aussi se constituer par voie ignée. On sait que la fonte est un mélange de carbone et de fer ; lorsqu'elle se solidifie, elle abandonne une partie de son carbone parce que l'abaissement de température ne lui permet pas de le conserver en totalité à l'état de dissolution. Le carbone ainsi séparé donne naissance à de petites lamelles noires, très brillantes, que l'on a comparées au graphite et qui paraissent appartenir au système hexagonal.

Le fait que je viens de rappeler autorise à prévoir la possibilité d'une fabrication artificielle du graphite ; mais les expériences tentées jusqu'à ce jour ne permettent guère de penser qu'il en sera de même pour le diamant. On ne connaît pas de substance susceptible de dissoudre le diamant ; nous venons de voir que la fonte pouvait dissoudre une certaine quantité de carbone, mais celui-ci pendant le refroidissement se transforme en une substance qui ne ressemble en rien au diamant. Dans les laboratoires, on ne peut produire une température assez élevée pour faire passer le carbone à l'état gazeux et l'obtenir en cristaux par voie de volatilisation. Entre les deux cônes de charbon d'une forte pile, le charbon se boursoufle considérablement et se transforme en une substance d'un gris métallique, friable et ressemblant en tous points au coke provenant des houilles grasses.

Le graphite et le diamant (voir *posteà*, chap. v) diffèrent l'un de l'autre par leur texture, leur couleur, leur densité et le système cristallin auquel ils appartiennent. Ils diffèrent encore par leur composition, car le diamant est du carbone pur, tandis que le graphite renferme constamment des matières volatiles. Leur origine et leur gisement ne sont pas non plus les mêmes.

J'ai dit que les combustibles fossiles forment une série naturelle complétée par le bois vivant, le graphite et le diamant. Le bois vivant se range en tête de cette série, puisqu'il est le point de départ dans les transformations successives qui ont pour résultats les divers combustibles. Le graphite et le diamant trouvent, à la fin de cette série, une place qui leur est assignée par leurs propriétés physiques et chimiques. Ni l'un ni l'autre n'ont une origine végétale, mais il me paraît naturel de penser que si, pendant la période azoïque, des végétaux, et surtout

des végétaux ligneux, avaient pu croître à la surface du globe, leurs débris auraient donné naissance à des combustibles tout à fait semblables sinon au diamant, du moins au graphite.

Origine des hydrocarbures. — Parmi les hydrocarbures, il en est qui ont incontestablement une origine végétale; c'est ce qui a lieu pour les résines fossiles et, notamment, pour le succin. D'autres hydrocarbures ont encore une origine végétale, mais d'une manière indirecte; ils proviennent de la distillation naturelle des combustibles parfaits, plus ou moins riches en bitume, et surtout de la houille. Cette distillation donne des produits tantôt gazeux, comme l'hydrogène carboné, tantôt liquides ou solides comme les bitumes et l'asphalte; elle n'est que dans des cas exceptionnels le résultat de la chaleur; ordinairement, elle s'effectue sous la seule influence des actions chimiques, favorisées par la pression qui s'exerce sur les combustibles comme sur une éponge. Très fréquemment, les calcaires, les grès et les schistes qui accompagnent les bancs de combustible, sont bitumineux et renferment même des rognons et des veinules d'asphalte; les éléments bitumineux contenus dans ces roches proviennent certainement du combustible, et c'est la pression seule qui a pu les en retirer, puisque, dans le voisinage des points où l'on peut observer ces faits, il n'existe souvent pas de roches éruptives.

Mais, dans un grand nombre de cas, les hydrocarbures n'ont pas une origine organique; ils se sont formés sous l'influence des seules forces physiques, soit qu'ils datent des temps cosmiques et qu'ils se trouvent en réserve au dessous des terrains stratifiés, soit qu'ils se produisent encore dans le voisinage des volcans. Je renverrai le lecteur à ce que j'ai dit (tome II, page 192) sur la provenance de beaucoup de carbures d'hydrogène

du tourbage, est à la fois cause et effet. Aussi les Hollandais ont-ils soin, dit-on, lorsqu'ils exploitent leurs tourbières, de ménager la couche inférieure de tourbe ; ils ont remarqué qu'alors elle se reconstitue plus facilement que lorsqu'on a mis à découvert l'argile sur laquelle le combustible repose.

Déjà, en 1804, le chimiste Einhof pensait que, dans la formation de la tourbe, il se produit d'abord un acide qui empêche la rapide décomposition des plantes. Pour Sprengel, c'était l'acide ulmique ; en 1821, il démontrait que les tourbes sont imprégnées d'une substance tellement antiseptique que la viande même, trempée dans l'eau saturée de cette substance à 12°, se conserve très longtemps et finit par se décomposer sans se corrompre. Sir Lyell, dans ses *Principes de Géologie*, rapporte quelques faits qui témoignent de la propriété qu'ont les tourbières de maintenir même des substances animales dans un état de conservation vraiment extraordinaire. « En juin 1747, le corps d'une femme fut trouvé à près de deux mètres de profondeur dans un marais tourbeux de l'île d'Axholme (Lincolnshire) ; les sandales antiques qui recouvraient ses pieds offraient la preuve évidente de son enfouissement dans ce lieu depuis plusieurs siècles ; et cependant ses ongles, ses cheveux et sa peau offraient à peine quelques traces d'altération. On fait aussi mention de deux corps qui, après avoir séjourné près de vingt neuf ans dans une tourbe humide où ils avaient été enterrés à un mètre de profondeur, en 1674, dans le Derbyshire, furent trouvés dans un état tel que la couleur de leur peau était aussi bien conservée, et leur chair aussi molle que celles d'individus morts récemment. »

L'eau des tourbières et les substances qu'elle renferme n'exercent une influence réelle, dans le tourbage, qu'au début de ce phénomène. Leur rôle se borne à mettre les végétaux à

même de se conserver pendant un temps assez prolongé pour que leur transformation en combustible puisse s'opérer à la suite des réactions chimiques dont il a été question dans le chapitre précédent. Plus tard, les débris de végétaux destinés à se convertir à leur tour en combustible, les amas de sable et d'argile, la terre végétale elle même se superposent à la couche de tourbe primitivement formée. Ils constituent une masse suffisamment épaisse pour préserver du contact de l'air atmosphérique cette tourbe qui, sous la pression s'exerçant sur elle, devient de plus en plus compacte.

Une température trop élevée, en favorisant la décomposition des matières végétales, est un obstacle à la formation de la tourbe. C'est pour cela que les tourbières n'existent que dans les contrées froides et humides. La température moyenne la plus propice à la formation de la tourbe est de 6° à 8°.

On a reconnu que l'eau, siége de la production de la tourbe, doit se renouveler, mais d'une manière très lente. Si l'eau se renouvelle d'une manière trop rapide, elle n'a pas le temps de se charger d'une quantité suffisante de substances antiseptiques qui sont entraînées à mesure que leur dissolution s'effectue. Aussi, la production de la tourbe est-elle suspendue ou ralentie sur les points des marais tourbeux où les sources jaillissent. Cette nécessité de la stagnation plus ou moins complète de l'eau explique pourquoi le sol qui supporte les tourbières est toujours plus ou moins imperméable et de nature argileuse.

Les observations faites par M. d'Archiac, dans le nord de la France, l'ont conduit aux conclusions suivantes : « Pour que la tourbe se forme, il faut que les eaux ne soient pas complétement stagnantes, qu'elles ne charrient pas une grande quantité de limon, qu'elles soient peu sujettes à de grandes crûes. Il faut en outre qu'elles soient très peu profondes, que leur mouve-

ment soit très peu rapide et qu'elles coulent sur un fond argileux ou peu perméable, et non sur des dépôts de transport diluviens de sable, de gravier et de cailloux roulés. Les vallées essentiellement tourbeuses, telles que celles de l'Anthée, de la Somme, de l'Ailette, de l'Ourcq, de l'Essonne, des petits affluents de la rive droite de l'Oise, dans le département de ce nom, de la Brèche, du Thérain et de l'Epte au delà, sont plus ou moins tourbeuses dans toute leur étendue, tandis que les vallées proprement dites de l'Oise, de l'Aisne, de la Marne et de la Seine, dont les eaux coulent sur un diluvium sableux et de cailloux roulés plus ou moins épais et plus ou moins étendu sur leurs bords, ne présentent nulle part de véritable tourbe continue sur des surfaces d'une certaine importance. »

Rôle des sphaignes dans les tourbières. — Ce sont les sphaignes qui, parmi les végétaux dont les débris concourent à la formation de la tourbe, jouent dans ce phénomène le rôle le plus important. Elles doivent ce privilége à leur mode de croissance, à leur végétation rapide et à leurs propriétés hygroscopiques.

Les sphaignes (*Sphagnum*) sont des mousses aquatiques, vivaces, à feuilles disposées sur plusieurs rangs, blanches avec une légère teinte roussâtre ou verdâtre. « Les espèces du genre *Sphagnum*, tout en conservant entre elles une grande ressemblance, varient cependant à l'infini, suivant les circonstances d'humidité au milieu desquelles le végétal est appelé à vivre. Elles semblent se ployer à toutes les exigences de l'habitat, et se modifier suivant qu'elles plongent dans les eaux profondes, dans les mares vaseuses de la surface, ou qu'elles s'élèvent au dessus du niveau de l'eau. La seule condition nécessaire à leur existence paraît être une certaine quantité d'humidité absorbée par la couronne ou par la tige du végétal. Dès que cette humi-

dité leur manque, elles se dessèchent et disparaissent. En considérant les sphaignes suivant leur mode de végétation, on peut les diviser en trois groupes nettement tranchés : celles qui ne vivent qu'immergées ; celles dont la couronne est toujours au dessus de l'eau ; celles enfin qui sont pour ainsi dire amphibies et ont pour la même espèce une forme aérienne et une forme immergée. » (Lesquereux.) (1)

Ce qui permet aux sphaignes de coopérer si activement à la formation de la tourbe, c'est que, comme les autres mousses, les fougères et tous les cryptogames vasculaires, elles sont acrogènes ; en d'autres termes, elles croissent exclusivement par leur sommet. A mesure que la partie supérieure de la tige s'allonge, la partie inférieure meurt, se dessèche et tend à se transformer en tourbe. Dans une nappe de sphaignes, il y a donc deux couches superposées : l'une, supérieure, en voie de végétation ; l'autre, sous jacente, déjà soumise à l'action du tourbage. Celle-ci tend sans cesse à augmenter d'épaisseur par l'addition de la couche superficielle destinée à être à son tour recouverte par un nouveau lit de sphaignes.

Les sphaignes croissent très rapidement, et, comme elles se ramifient beaucoup, elles finissent, en se pressant les unes contre les autres, par former un feutrage épais qui recouvre le sol ou constitue, au dessus des eaux marécageuses, une espèce de plancher flottant ; sur ce plancher d'autres plantes, puis des végétaux arborescents finissent par se développer.

Quant à la rapidité de propagation des sphaignes, et à la faculté qu'elles ont d'envahir de vastes espaces en très peu de temps, il me suffira, pour les mettre en évidence, de rappeler

(1) M. Lesquereux est l'auteur d'un très bon travail sur les marais tourbeux, qui a été publié, en 1844, dans les *Mémoires de la Société des sciences naturelles* de Neufchâtel.

ment soit très peu rapide et qu'elles coulent sur un fond argileux ou peu perméable, et non sur des dépôts de transport diluviens de sable, de gravier et de cailloux roulés. Les vallées essentiellement tourbeuses, telles que celles de l'Anthée, de la Somme, de l'Ailette, de l'Ourcq, de l'Essonne, des petits affluents de la rive droite de l'Oise, dans le département de ce nom, de la Brèche, du Thérain et de l'Epte au delà, sont plus ou moins tourbeuses dans toute leur étendue, tandis que les vallées proprement dites de l'Oise, de l'Aisne, de la Marne et de la Seine, dont les eaux coulent sur un diluvium sableux et de cailloux roulés plus ou moins épais et plus ou moins étendu sur leurs bords, ne présentent nulle part de véritable tourbe continue sur des surfaces d'une certaine importance. »

Rôle des sphaignes dans les tourbières. — Ce sont les sphaignes qui, parmi les végétaux dont les débris concourent à la formation de la tourbe, jouent dans ce phénomène le rôle le plus important. Elles doivent ce privilége à leur mode de croissance, à leur végétation rapide et à leurs propriétés hygroscopiques.

Les sphaignes (*Sphagnum*) sont des mousses aquatiques, vivaces, à feuilles disposées sur plusieurs rangs, blanches avec une légère teinte roussâtre ou verdâtre. « Les espèces du genre *Sphagnum*, tout en conservant entre elles une grande ressemblance, varient cependant à l'infini, suivant les circonstances d'humidité au milieu desquelles le végétal est appelé à vivre. Elles semblent se ployer à toutes les exigences de l'habitat, et se modifier suivant qu'elles plongent dans les eaux profondes, dans les mares vaseuses de la surface, ou qu'elles s'élèvent au dessus du niveau de l'eau. La seule condition nécessaire à leur existence paraît être une certaine quantité d'humidité absorbée par la couronne ou par la tige du végétal. Dès que cette humi-

dité leur manque, elles se dessèchent et disparaissent. En considérant les sphaignes suivant leur mode de végétation, on peut les diviser en trois groupes nettement tranchés : celles qui ne vivent qu'immergées ; celles dont la couronne est toujours au dessus de l'eau ; celles enfin qui sont pour ainsi dire amphibies et ont pour la même espèce une forme aérienne et une forme immergée. » (Lesquereux.) (1)

Ce qui permet aux sphaignes de coopérer si activement à la formation de la tourbe, c'est que, comme les autres mousses, les fougères et tous les cryptogames vasculaires, elles sont acrogènes ; en d'autres termes, elles croissent exclusivement par leur sommet. A mesure que la partie supérieure de la tige s'allonge, la partie inférieure meurt, se dessèche et tend à se transformer en tourbe. Dans une nappe de sphaignes, il y a donc deux couches superposées : l'une, supérieure, en voie de végétation ; l'autre, sous jacente, déjà soumise à l'action du tourbage. Celle-ci tend sans cesse à augmenter d'épaisseur par l'addition de la couche superficielle destinée à être à son tour recouverte par un nouveau lit de sphaignes.

Les sphaignes croissent très rapidement, et, comme elles se ramifient beaucoup, elles finissent, en se pressant les unes contre les autres, par former un feutrage épais qui recouvre le sol ou constitue, au dessus des eaux marécageuses, une espèce de plancher flottant ; sur ce plancher d'autres plantes, puis des végétaux arborescents finissent par se développer.

Quant à la rapidité de propagation des sphaignes, et à la faculté qu'elles ont d'envahir de vastes espaces en très peu de temps, il me suffira, pour les mettre en évidence, de rappeler

(1) M. Lesquereux est l'auteur d'un très bon travail sur les marais tourbeux, qui a été publié, en 1844, dans les *Mémoires de la Société des sciences naturelles* de Neufchâtel.

le fait suivant : M. Lesquereux a calculé qu'une seule capsule de *Sphagnum* pouvait contenir jusqu'à 2690060 spores ou graines.

Le tissu mince et délicat des sphaignes pompe l'humidité à la manière des éponges. Certaines tourbes desséchées peuvent absorber jusqu'à plus de douze fois leur volume d'eau. Quelle que soit la hauteur à laquelle les sphaignes croissent, quelle que soit la sécheresse de l'air, leurs tiges sont toujours humectées. C'est ce qui rend possible la formation de la tourbe sur des pentes où l'eau ne saurait se maintenir.

« On objectera sans doute, » dit M. Lesquereux, « que le rôle des sphaignes n'est point universel ; en effet, dans tous les cas où l'humidité est assez grande pour empêcher la rapide décomposition du ligneux, quelle que soit d'ailleurs la cause qui la fournisse, la tourbe peut croître sans les sphaignes. Mais, malgré toutes les recherches que j'ai faites sur tous les hauts marais, je n'ai vu nulle part la tourbe émergée s'élever sans le concours de ces mousses. Partout où elles disparaissent, le marais se couvre de lichens, de quelques autres espèces de mousses, de bruyères, etc., et, au lieu de tourbe, il ne se forme plus qu'une terre noire et plus ou moins compacte suivant son âge. On trouve fréquemment, à la surface des tourbières déjà hautes et vieilles, des espaces absolument nus et dépouillés de végétation, sur lesquels la tourbe affleure à la surface. Ce sont précisément ces endroits dépouillés, que les sphaignes avaient abandonnés, où d'autres végétaux ont déposé une légère couche de terre marneuse. »

D'après Darwin, contrairement à ce qui arrive en Europe, aucune espèce de mousses ne concourt à la formation de la tourbe dans les dépôts tourbeux de l'Amérique méridionale. Darwin a observé, comme composant essentiellement la tourbe, une plante dont la végétation pourrait peut-être jeter quelque

jour sur cette production d'un autre hémisphère par son analogie avec celle des sphaignes; car, après avoir dit que l'*Astelia pumila* et la *Donatia Magellanica* couvrent presque seules les terrains tourbeux de la Terre de Feu, il ajoute que « la dernière de ces plantes est l'agent principal de la tourbe; les feuilles nouvelles se succèdent continuellement autour du tronc; celles du bas se pourrissent de suite, et, en suivant la racine dans la tourbe, on voit encore les feuilles conserver leur position dans les différents états de la transformation, jusqu'à ce que le tout ne forme qu'une seule masse » (1).

Végétation des tourbières; anciennes forêts sous jacentes à la tourbe. — Parmi les végétaux qui croissent sur les tourbières et qui, avec les sphaignes, concourent à la formation de la tourbe, se trouvent quelques autres espèces de mousses et surtout celles dont se compose le genre *Hypnum*. Il faut encore mentionner les prêles, les joncs, les carex et quelques roseaux. Ces plantes sont stolonifères; grâce à leurs tiges traçantes, elles envahissent rapidement le sol qui les environne et déterminent directement, par l'accumulation de leurs débris, la formation d'une nappe plus ou moins épaisse de tourbe. Elles préparent aussi l'établissement des tourbières, en s'avançant graduellement des bords vers le centre d'un lac qu'ils finissent par combler et par transformer en marais tourbeux.

La flore des tourbières comprend encore quelques arbustes, tels que des airelles, des érica, des andromèdes, une variété

(1) Le genre *Astelia* appartient à la famille des joncacées; il se compose de plantes herbacées, vivaces, ayant un peu le port des carex. Le genre *Donatia* fait partie des saxifragées; il comprend une seule espèce, la *Donatia Magellanica*; c'est une plante presque acaule, à tiges gazonnées, à feuilles alternes, et à fleurs sessiles, blanches.

du *Pinus Sylvestris*, L. et le bouleau blanc, *Betula alba*, L. « Le bouleau vient d'abord, puis le pin sylvestre. Le sapin rouge s'aventure aussi çà et là dans le marais, mais il n'y prospère jamais. Les pins eux mêmes n'y deviennent pas des arbres de haute futaie ; lorsqu'ils sont parvenus à une certaine élévation et qu'ils ont atteint un certain poids, ils percent la croûte qui les supporte ; ils s'enfoncent dans une couche sans consistance, se renversent et se transforment en tourbe comme la végétation herbacée. Le vent les déracine facilement; aussi la tourbe est-elle souvent traversée par des troncs de pins et de bouleaux qui rehaussent la somme de son pouvoir calorifique. Dans la marche que nous venons d'indiquer et que l'on peut observer dans un grand nombre de localités, la végétation arborescente apparaît comme la dernière phase de la formation de la tourbe. Il peut se faire, inversément, que la forêt précède la tourbière, quand par quelque accident les drains naturels d'une forêt viennent à être obstrués ou que l'écoulement des eaux se trouve gravement entravé; celles-ci se rassemblent alors dans les bas fonds. La végétation aquatique et la production de la tourbe y commencent aussitôt; ainsi prennent naissance les marécages de nos forêts. Les arbres environnants, arrêtés dans leur croissance, périssent les uns après les autres et, lorsqu'ils sont abattus par le vent, aucune végétation nouvelle ne vient les remplacer. Le sol de la forêt s'est transformé graduellement en un sol tourbeux où les arbres se trouvent à la base de la tourbe, et contribuent à la formation de ce combustible ; mais ce sont toujours les mousses, les roseaux et les plantes des marais qui fournissent la plus grande somme d'éléments. Lorsque la tourbe aura pris une certaine épaisseur, des colonies de bouleaux et de pins viendront de nouveau s'y établir. » (O. Heer.)

« L'existence antérieure de forêts sur les lieux même qu'occupent les marais tourbeux est attestée par une foule d'observations. Sous un grand nombre de tourbières de l'Angleterre, on trouve des forêts entières renversées sans doute par des ouragans, puisque tous les arbres y sont couchés dans le même sens à côté des troncs encore debout et brisés à la hauteur de quelques pieds. La couronne des arbres est tournée vers le nord est, et c'est bien du sud ouest que soufflent en Angleterre les vents les plus violents. Ce phénomène, à peine modifié, a été également reconnu en Irlande, en Hollande et dans le nord de l'Allemagne. » (Lesquereux.)

Structure des tourbières. — Les tourbières de quelque importance sont fréquemment traversées par une rivière ou par un fleuve ; il en est ainsi notamment pour celles de la vallée de la Somme. Dans ce cas, les points situés dans le voisinage du cours d'eau sont ordinairement le siége d'un dépôt de sable et de limon qui se produit pendant qu'à côté se forme la tourbe ; il en est toujours ainsi excepté lorsque ce cours d'eau ne charrie pas de matières terreuses.

L'ensemble dont une tourbière se compose débute fréquemment par un amas de débris résultant de la destruction d'anciennes forêts. Au dessus, viennent une ou plusieurs couches de tourbe, tantôt immédiatement superposées les unes aux autres, tantôt séparées par des bancs de limon, de sable ou de gravier. Ces alternances démontrent que l'emplacement occupé par une tourbière a successivement passé par plusieurs états ; des changements dans le niveau des eaux ont pu, à plusieurs intervalles, interrompre la formation de la tourbe et amener au dessus d'elle des dépôts d'une nature différente. D'ailleurs, quelle que soit l'étendue d'une tourbière, la tourbe, ainsi que

le sable, le limon et le gravier qui alternent avec elle, sont toujours en couches horizontales; ce fait est en relation avec le mode de formation de la tourbe et son origine récente.

Les alternances dont il vient d'être question sont évidemment la conséquence de l'invasion d'une tourbière par les eaux. Cette invasion a ordinairement pour effets l'apport de matières terreuses et un arrêt dans la formation de la tourbe; elle peut être suivie du retrait des eaux, s'effectuant tantôt rapidement, tantôt d'une manière lente; alors le phénomène du tourbage reprend son cours. L'inondation d'une tourbière est quelquefois le résultat de divers accidents dont le lecteur peut aisément se faire une idée: la crûe d'une rivière voisine, la rupture des digues qui limitent le dépôt tourbeux, etc; mais elle peut aussi se produire à la suite d'un affaissement de terrain. Le sol de la Hollande, cette terre classique des tourbières, est formé de couches alternantes de limon, de tourbe et de sable. Le sol de ce pays paraît être soumis depuis longtemps à un affaissement insensible qui aurait eu pour conséquence sa disparition sous les eaux de l'océan, si les amas tourbeux et les attérissements formés par les fleuves à leur embouchure n'agissaient en sens inverse et ne tendaient à déterminer un exhaussement; c'est cette tendance que les Hollandais favorisent par leurs travaux.

Lorsque plusieurs couches de tourbe se superposent dans une même tourbière, on voit se succéder de haut en bas les diverses variétés de ce combustible. La plus superficielle, dite *tourbe mousseuse*, est à tissu lâche; elle est formée de végétaux entrelacés, à peine décomposés. Au dessous se trouve parfois de la *tourbe feuilletée,* formée de feuilles entassées et contenant des branches et des troncs aplatis. A mesure que la tourbe se montre à une profondeur plus grande, elle devient plus noire,

plus compacte. La tourbe feuilletée se forme essentiellement au fond des eaux marécageuses et provient surtout de l'accumulation des débris des plantes qui croissent dans ces eaux. Chaque année, ces plantes laissent une nouvelle couche de débris, de sorte que la structure de la tourbe feuilletée est en relation avec leur croissance annuelle.

Il est des tourbes marneuses qui renferment une telle quantité de débris de coquilles fluviatiles et terrestres qu'on a de la peine à la faire brûler; toutes les espèces auxquelles appartiennent ces débris vivent encore dans les localités voisines. Les tourbes peuvent aussi contenir de nombreux débris d'insectes et surtout de coléoptères.

La croissance de la tourbe paraît être de $0^m,60$ à $1^m,30$ par siècle. Pourtant, dans les tourbières de la vallée supérieure de la Somme, on estime qu'il suffit d'un siècle pour la reproduction d'une couche de $3^m,30$. M. d'Archiac, en mentionnant cette appréciation, fait observer qu'elle lui paraît trop forte.

Accidents auxquels les tourbières sont sujettes : enfouissement des animaux. — Certains dépôts tourbeux sont susceptibles de se pénétrer accidentellement d'une quantité d'eau plus grande que celle qu'ils peuvent contenir. Cette eau s'infiltre dans les tourbières lorsque le niveau des rivières et des lacs, avec lesquels les tourbières sont en communication, vient à s'élever; elle peut provenir aussi des pluies abondantes ou des sources qui jaillissent au dessous des tourbières et dont le débit se trouve subitement augmenté. Alors les dépôts tourbeux se gonflent et prennent une forme convexe. Si la pression, venant du fond et produite par l'eau qui afflue, augmente, le bombement du sol atteint alors sa dernière limite; il y a rupture et les eaux, en s'écoulant, entraînent une grande quantité de tourbe

pour la déposer de nouveau après l'avoir remaniée. En 1772, le Solway-Moos, tourbière située en Ecosse, ayant été rempli d'eau pendant de grandes pluies, s'éleva à une hauteur extraordinaire et déborda ; un courant de boue noire à moitié solide s'étendit sur la plaine, à la manière d'un courant de lave ; l'inondation détruisit entièrement plusieurs chaumières et recouvrit une étendue de plus de cent soixante hectares.

Quelquefois des masses tourbeuses se détachent du bord des lacs et des rivières et s'éloignent à la dérive comme des îles flottantes ; on les fixe, dans certains cas, au moyen de perches qui traversent la masse tourbeuse et vont s'implanter dans le sol.

Ce qui vient d'être dit sur les tourbières explique les dangers auxquels le voyageur et les animaux qui les parcourent se trouvent exposés ; ce danger existe principalement sur les points où des sources en ralentissant le phénomène du tourbage ont rendu très mince la couche superficielle de tourbe. Le voyageur imprudent ou l'animal égaré peuvent disparaître dans l'eau marécageuse qui forme une nappe plus ou moins profonde au dessous du sol tourbeux.

Distribution topographique des tourbières. — Les dépôts tourbeux descendent quelquefois sur les flancs des montagnes ou couvrent leurs sommets arrondis. Dans les Alpes et les Vosges, comme en Irlande, on les observe sur des pentes assez fortes inférieures aux petits lacs et aux glaciers qui les arrosent. Certaines tourbières des régions montagneuses s'établissent sur un sol à peine humecté et occupent des déclivités de terrain où l'eau ne saurait rester stationnaire. Dans ces divers cas, la tourbe est due presque entièrement à la végétation des sphaignes, qui empruntent à l'atmosphère la majeure partie

de l'eau nécessaire à sa formation ; son épaisseur n'est souvent que de quelques centimètres et ne dépasse pas quatre pieds.

Les tourbières des plateaux et des vallées des montagnes sont établies dans des marais peu profonds, ainsi qu'on le constate dans les Ardennes. Les plantes marécageuses concourent alors, avec les mousses, à la production de la tourbe. Les tourbières les plus étendues, celles où la tourbe forme des bancs d'une grande épaisseur, existent dans les régions basses. Elles se montrent principalement sur les bords des lacs, des rivières et de la mer, dont elles sont séparées par des digues, des atterrissements ou des dunes. La tourbe résulte alors, comme dans le cas précédent, du mélange de mousses et de plantes des marais ; elle constitue des bancs épais de douze et même, dans des cas exceptionnels, de dix huit mètres.

On donne quelquefois le nom de *tourbières sous marines* à celles qui, bien que formées par des sphaignes et des végétaux terrestres, se trouvent actuellement recouvertes par les eaux de l'océan. Mais la désignation de tourbières marines doit être spécialement affectée ä celles où la tourbe se montre, en totalité ou en partie, composée de végétaux marins, tels que *Zostera marina*, *Fucus digitatus*, etc. La presqu'île d'Œreland, près de Drontheim, consiste presque entièrement en un puissant lit de tourbe, dont la partie inférieure est, en majeure partie, formée de végétaux marins, notamment de *Zostera marina*, à demi décomposés, tandis que les parties supérieures ne contiennent que des plantes de marais et principalement le *Sphagnum palustre*.

Lorsque la tourbière se forme par voie d'empiétement sur un espace occupé par l'eau, deux végétations différentes concourent à sa formation : l'une, au fond de l'eau, produite par les plantes aquatiques, l'autre à sa surface, déterminée par des

végétaux terrestres qui prennent racine sur la pellicule formée par les feuilles sèches, le bois mort et les objets flottants. Ces végétaux terrestres constituent un gazon superficiel dont l'épaisseur va en augmentant. Des arbres s'implantent plus tard sur ce sol flottant qui possède quelquefois assez de plasticité pour supporter l'homme et les animaux. Le sol tourbeux, ainsi superposé à une nappe d'eau, se reconnaît ordinairement à son élasticité et au son qu'il rend sous les pas du voyageur.

Si la tourbe se forme dans une vallée, elle resserre de plus en plus et finit par limiter la rivière qui occupe le thalweg de cette vallée. Sur les bords d'un lac, on la voit constituer autour de lui une zone dont l'étendue va en croissant jusqu'à ce que ce lac ait été transformé en marais ; cet envahissement de la tourbe n'est arrêté que sur les points où les eaux ont une trop grande profondeur. La tourbe peut aussi, en se développant, amener le dessèchement de bras de mer ou de golfes peu profonds ; le territoire d'Oldenbourg, jadis séparé du Holstein, tend à s'y réunir par la formation de la tourbe ; le bras de mer qui existait encore en 1320 sera bientôt comblé et la ville maritime du quatorzième siècle se trouvera dans l'intérieur des terres.

L'étendue des tourbières varie beaucoup. Vers le nord, les marais tourbeux sont des plaines immenses où l'on ne peut pénétrer qu'en hiver. Près de Hambourg, le *Duvels Moor* (tourbière du Diable) a une longueur de 80 kilomètres sur une largeur de vingt. Dans le milieu de l'Europe et dans les vallées du Jura, leur étendue varie de quelques mètres à quelques lieues carrées. Dans les montagnes plus élevées, leur grandeur diminue encore ; elles n'ont plus quelquefois que de deux à trois pieds de superficie.

Distribution géographique des tourbières. — Ce mode de distribu-

tion met en évidence le rapport qui existe entre l'étendue et la profondeur des marais tourbeux, d'une part, et, d'autre part, la température et l'humidité atmosphérique des contrées où ils se trouvent. Pour qu'il y ait formation de tourbe, avons-nous dit, deux conditions essentielles doivent être remplies ; il faut une température froide et un climat humide. Il faut également une végétation spéciale caractérisée surtout par l'abondance des mousses ; mais cette troisième condition se ramène à la précédente, puisque cette végétation ne peut se développer aussi que dans les contrées froides et humides. Il faut une certaine humidité non seulement dans le sol, mais encore dans l'atmosphère ; aussi, à latitude et à conditions égales, les tourbières sont-elles plus nombreuses et plus étendues près du bord de la mer que dans l'intérieur des continents.

Dans notre hémisphère, on peut prendre pour limite méridionale de la zone des tourbières le 43e degré de latitude ; c'est, en effet, sur le revers des Pyrénées que se trouvent les dépôts tourbeux les plus rapprochés de l'équateur ; la limite septentrionale coïncide avec celle qui marque le terme de la végétation des plantes ligneuses ; on peut adopter pour la représenter, le 70e degré de latitude qui passe à proximité du cap Nord. La zone des tourbières offre donc une largeur de 27 degrés, c'est à dire égale à près d'un tiers de la distance du pôle à l'équateur. C'est dans la partie moyenne de cette zone, c'est à dire vers les latitudes de l'Irlande et de la Hollande, que le phénomène du tourbage se développe avec le plus d'énergie.

Le mode de distribution des tourbières est fonction non seulement de la latitude mais aussi de l'altitude. En Europe, on peut rattacher les tourbières à deux régions : la région montagneuse et la région basse. Dans la région montagneuse, les tourbières ne se montrent qu'à une certaine élévation et

n'existent pas dans les plaines. On trouve des dépôts tourbeux dans les hautes vallées des Pyrénées; celles des Alpes en sont remplies jusqu'à une altitude de 2400 mètres. Ils existent également sur le plateau central de la France, dans le haut Jura, en Suisse, dans les Vosges, les Ardennes, le Harz. La région basse nous montre les dépôts tourbeux non seulement sur les points élevés placés près du littoral, mais aussi et surtout au niveau de la mer. On trouve ces dépôts tourbeux dans les landes de Bordeaux, entre la Seudre, la Charente et les Deux-Sèvres, vers l'embouchure de la Loire où existe le grand marais de Montoire qui a plus de 50 lieues de tour et sur toute l'étendue du bassin de la Somme. J'ai déjà mentionné les tourbières des environs de Paris (*antè*, page 158). Les tourbières sont très communes dans le nord de l'Allemagne, en Danemark, en Angleterre et surtout dans la Hollande et l'Islande, ces deux terres classiques de la tourbe.

L'étude du mode de distribution des tourbières dans l'Amérique du nord présente les mêmes particularités qu'en Europe. Dans l'hémisphère austral, la zone des tourbières occupe absolument la même situation que dans l'hémisphère boréal. Darwin rapporte qu'on ne trouve pas de tourbe dans l'île de Chiloé, par 41° et 42° de latitude méridionale, quoiqu'il y ait beaucoup de marécages; elle commence à être très abondante dans les îles des Chonos, trois degrés plus bas, vers le sud. C'est dans les îles Malouines par le 52° de latitude sud que les dépôts tourbeux se montrent avec le plus d'étendue et de puissance. A cet égard, il y a, dit M. Lesquereux, un rapprochement curieux à faire avec ce qu'on observe en Islande, où, sous une même latitude, au nord, et à la température moyenne égale, on rencontre aussi la plus grande quantité de marais tourbeux; l'Irlande, comme les îles Malouines, n'est en réalité qu'une vaste tourbière.

Distribution géologique des tourbières. — Les faits sur lesquels nous venons de nous appuyer pour expliquer la distribution géographique des tourbières doivent nous aider à trouver une réponse satisfaisante à cette question : Les tourbières ont elles existé antérieurement à l'ère jovienne ? Nous pouvons presque affirmer à priori que, si les régions où la température moyenne est trop élevée ne sauraient être le siége d'une formation de tourbe, il en a été de même pour les époques pendant lesquelles la température moyenne de la surface du globe a été supérieure à celle de nos jours. Nous pouvons conclure de là qu'il n'a pas dû se former de tourbières proprement dites pendant la presque totalité des temps géologiques. Ce phénomène n'a dû commencer à se manifester que vers la fin de la période néozoïque et dans le voisinage des pôles seulement. Ce n'est que pendant l'ère jovienne qu'il a dû prendre toute son extension, et si l'on tient compte exclusivement des faits observés jusqu'à ce jour, on peut dire qu'il lui est spécial.

Les plus anciennes tourbières sont celles d'Utznach et de Durten, en Suisse. La tourbe y forme une masse de 10 pieds d'épaisseur, mais les troncs d'arbre aplatis qu'elle renferme prouvent qu'elle a dû être fortement comprimée. Elle repose sur une couche de limon placée elle même sur la mollasse. On y a recueilli des dents d'*Elephas antiquus* et un squelette entier de *Rhinoceros leptorhinus*, ce qui nous paraît un motif suffisant pour rattacher ces dépôts de tourbe à la première époque de l'ère jovienne. La tourbe est recouverte à Utznach par le diluvium de la seconde période glaciaire et à Durten par le sable et les cailloux roulés où, dans beaucoup d'endroits de la Suisse, on a rencontré des restes de l'*Elephas primigenius* qui a vécu après l'éléphant dont il vient d'être question.

Si nous continuons à tenir compte des conditions nécessaires

à l'établissement des tourbières, nous ne devons pas hésiter à admettre qu'il s'est formé de la tourbe pendant toute l'ère jovienne et notamment lors de la période interglaciaire (tome I, page 132). Pour se rendre compte de leur absence pendant cette période, il suffit de se rappeler que les unes existent dans l'intérieur des continents et les autres près du littoral. Les premières sont soumises aux mêmes chances de destruction que la terre végétale, et celles qui dataient de la période interglaciaire ont dû être, comme la terre végétale, enlevées par les agents d'érosion et de transport; les autres ont pu, à la suite d'un affaissement continu du sol, se dérober à notre observation sous les tourbières plus modernes; c'est certainement ce qui a eu lieu en Hollande.

Toutes les tourbières connues appartiennent à la période post-glaciaire. Leur âge récent est accusé tout à la fois par leur situation géognostique et par l'époque à laquelle se rattachent les débris de mammifères qu'elles renferment. En effet, elles sont toujours situées au dessus des terrains de transport réunis sous la désignation de diluvium, et les animaux dont elles contiennent les ossements font tous partie, sans exception, de la faune qui est venue après la dernière retraite des glaciers. Pourtant, il existe de la tourbe qui date des temps anté-historiques; c'est ce que M. Steenstrup a démontré pour les marais tourbeux du Danemarck, en établissant que les débris de l'industrie humaine, si abondants vers la partie supérieure des tourbières, ne se rencontrent jamais dans leur partie inférieure.

CHAPITRE III.

HOUILLÈRES.

La houille s'est formée sur place, dans des eaux marécageuses ou dans des lacs peu profonds. — Végétation de la période houillère. — Fougères. — Equisétacées; calamites; astérophyllites; annularia. — Lycopodiacées; lepidodendrons; sigillaires; stigmaria. — Marais avec forêts de sigillaria; rôle des végétaux à racines stigmariées. — Rôle des calamites et des fougères. — Aspect d'un bassin houiller; alternances des bancs de combustible et des roches d'origine inorganique, dans le sens vertical et dans le sens horizontal. — Périodes de la houille et de l'anthracite; circonstances qui ont favorisé la formation de ces combustibles. — Distribution géographique des bassins houillers. — Analogie entre les tourbières et les houillères.

La houille s'est formée sur place et non par charriage. — M. Elie de Beaumont a démontré, par des calculs très précis, que la houille s'était formée sur place et nullement par voie de charriage. Dans ces calculs, en comparant la houille et le bois sous le rapport de leur pesanteur spécifique et de leur richesse en carbone, il établit d'abord qu'une couche de bois, sans interstices, si elle pouvait être changée en houille, sans perte de carbone, diminuerait d'épaisseur, dans le rapport de 1 à 0,2280. En tenant compte de la quantité de matière ligneuse contenue dans un hectare de taillis de vingt cinq ans, il calcule que cette matière ligneuse formerait sur toute la surface de l'hectare une couche continue et sans interstices de 0^{m}, 008480 d'épaisseur; transformée en houille, d'après les évaluations précédentes, cette couche de bois reviendrait à une couche de

houille de $0^m,008486 \times 0^m,2280 = 0^m,001935$ ou environ deux millimètres d'épaisseur. « Il existe probablement, » ajoute M. Elie de Beaumont, « peu de futaies, même parmi les plus épaisses, qui contiennent autant de carbone qu'une couche de houille de même étendue et d'un centimètre d'épaisseur. La surface des terrains houillers reconnus en France forme 1/200 de la surface totale du territoire. Si l'on tient compte de la stérilité de certains terrains, on verra qu'une futaie de la plus belle venue possible qui couvrirait la France entière serait loin de contenir autant de carbone qu'une couche de houille de 2 mètres d'épaisseur étendue dans les seuls bassins houillers connus. Ces résultats, qui sont de simples approximations, suffisent cependant pour donner une haute idée du phénomène, quel qu'il soit, par suite duquel a eu lieu l'accumulation de matière végétale nécessaire pour produire une couche de houille ayant un mètre, 2 mètres et jusqu'à 30 mètres d'épaisseur, comme celle du bassin houiller de l'Aveyron. On a quelquefois supposé que les couches de houille pouvaient résulter de l'enfouissement de radeaux de bois flotté ; mais les calculs précédents conduisent à reconnaître que ces radeaux devraient avoir eu une épaisseur énorme et tout à fait inadmissible. Le bois, lorsqu'on le range en stères, présente de nombreux interstices qu'on évalue à plus des 38/128 du volume total ; pour des branchages, la somme des vides est encore plus grande. Dans un radeau naturel, les troncs ne pourraient être aussi bien rangés que dans du bois en stères, et l'on peut supposer sans exagération qu'un radeau naturel renfermerait la moitié de son volume de vide ; par conséquent, un pareil radeau, s'il pouvait être réduit en houille, sans aucune perte de carbone, en donnerait une couche dont l'épaisseur serait $1/2 \times 0^m,2280$ ou $0^m,1140$, c'est à dire moins du huitième de la sienne. Ainsi,

une couche de houille épaisse d'un mètre supposerait un radeau de 8^{m},76 d'épaisseur; une couche de houille de 2 mètres supposerait un radeau de 17^{m},52; une couche de houille de 30 mètres supposerait un radeau de 263 mètres. Il faut, en outre, remarquer que la houille provient de végétaux d'une faible densité, et, pour tenir compte de cette différence, il faudrait tripler les épaisseurs, et supposer des radeaux de 26,52, et 788 mètres, ce qui dépasse les limites du possible. »

On pourrait supposer que le transport des arbres a eu lieu d'une manière lente et continue, ainsi que cela se passe à l'embouchure du Mississipi. Mais comment concilier une pareille hypothèse avec la stratification régulière des bancs de houille qui s'étendent sur des surfaces de plusieurs lieues sans varier d'épaisseur? Comment admettre que les courants qui auraient transporté les radeaux n'auraient pas en même temps charrié du sable et du limon pour les déposer pêle-mêle avec les débris de végétaux, et, dans ce cas, comment expliquer la pureté de la houille? Si les arbres ainsi transportés ont été reçus dans des eaux douces ou salées, comment se fait-il que les strates avec lesquelles le combustible alterne, soient généralement dépourvues de fossiles? Toutes ces objections rendent inadmissible l'hypothèse d'une formation de la houille par voie de charriage. Le lecteur aura d'autant mois de peine à rejeter cette hypothèse qu'il existe, pour expliquer l'origine de la houille, une théorie que je vais développer; cette théorie, que des idées récemment émises nous mettent à même d'exposer d'une manière complète, est basée sur l'assimilation des houillères aux tourbières actuelles.

La houille s'est donc formée sur place. Mais la présence de l'eau est une condition essentielle pour qu'il y ait production

de combustible. D'un autre côté, cette eau n'a pu être celle de l'océan puisque les arbres qui ont constitué la houille n'appartenaient certainement pas à une végétation sous marine. Par conséquent, la houille, de même que la tourbe, n'a pu se former que dans les lacs peu profonds ou dans des dépressions marécageuses.

Végétation de la période houillère. — La flore de la période houillère ne possédait aucune dicotylédonée angiosperme et ne comprenait qu'un nombre insignifiant de monocotylédonées. Quelques unes des formes végétales dont elle se composait appartenaient à la famille des conifères; c'étaient surtout des *Walchia* qui, par leur port et leur aspect général, devaient se rapprocher beaucoup des *Araucaria* de l'époque actuelle, et surtout des *Araucaria excelsa* et *Cunninghami*, qui croissent l'un dans l'île de Norfolk, et l'autre en Australie. Aux conifères se mêlaient quelques *Nœggerathia*, plantes dont les affinités sont douteuses, mais qui, d'après M. Ad. Brongniart, paraissent participer des conifères et des cycadées.

Les arbres, qui constituaient avec ces conifères les forêts de la période houillère, étaient tous des cryptogames que leurs caractères permettent de ranger dans une des trois familles des fougères, des équisétacées et des lycopodiacées, encore représentées à la surface du globe, quoique ayant bien perdu de leur ancienne importance.

Fougères. — Les *Fougères*, qui forment une famille si naturelle, jouaient un rôle très important dans la flore de la période houillère; elles avaient dès lors les caractères organographiques que nous leur reconnaissons aujourd'hui.

Les fougères se montrent surtout très abondantes et très

variées sous les tropiques, et c'est dans la zone intertropicale que se trouvent celles qui sont arborescentes; les plus grandes espèces sont les *Alsophila* des Indes Orientales et de l'île Bourbon qui ont jusqu'à 15 et 20 mètres de haut; quelques fougères en arbre croissent dans la terre de Diémen et la Nouvelle Zélande. Les fougères aiment les lieux humides, frais et ombragés; les climats insulaires leur sont surtout très favorables. La tige des fougères donne naissance à un grand nombre de racines adventives qui, dans les espèces arborescentes, naissent jusqu'à trois et quatre mètres de hauteur, et forment une masse conique fibrilleuse. Les feuilles, dans ces fougères en arbres, constituent, en général, des séries longitudinales très régulières, ou quelquefois des verticilles assez espacés; elles ont des pétioles arrondis ou elliptiques à leur base et laissent, après leur chute, des cicatrices de cette même forme. Quoique dépourvues de bourgeons axillaires, les fougères peuvent quelquefois se ramifier, mais seulement par bifurcation ou dédoublement de leur bourgeon terminal. Les organes reproducteurs des fougères sont renfermés dans des capsules placées au dessous des feuilles.

Équisétacées; calamites. — Les *Equisétacées*, vulgairement appelées *prêles* ou *queues de cheval* (*equus*, cheval; *seta*, soie), croissent dans les marais ou sur les sols humides et argileux. Leur tige est cylindrique, striée longitudinalement, creuse, formée d'articles munis, à leur point de jonction, d'une gaîne membraneuse, dentée, qui paraît être le rudiment des feuilles. Les rameaux, toujours verticillés, prennent naissance à la base des gaînes et présentent la même structure que la tige. Les organes reproducteurs sont disposés en cercle au dessous d'écailles qui forment un épi terminal. Les équisétacées

ne comprennent actuellement que le seul genre *Equisetum*, qui existait déjà lors de la période houillère et qui se montre, à divers intervalles, dans la série des terrains. L'*Equisetum infundibuliforme* était beaucoup plus grand qu'aucune des équisétacées actuelles; pourtant, l'*Equisetum giganteum*, espèce de l'Amérique du sud, atteint environ 1m,50 et, d'après Meyer, l'*Equisetum Bogotense* s'élève à 4 ou 6 mètres.

Sous le nom de *Calamites* (*calamus*, roseau), on a désigné depuis longtemps des tiges qui se rencontrent très fréquemment dans le terrain houiller et qu'on avait anciennement considérées comme de grands roseaux ou bambous. C'étaient des arbres à tige cylindrique ou à peu près creuse, articulée, à articles fermés par un diaphragme se dénotant au dehors par des anneaux transversaux; cette tige était régulièrement sillonnée dans le sens de la longueur, et ces sillons se continuaient à travers les articulations ou alternaient entre eux. Ces tiges s'atténuaient vers leur base, les feuilles étaient verticillées et réunies pour former une gaîne cylindrique ou étalée, plus ou moins profondément dentée; quelquefois ces feuilles étaient nulles et remplacées par des tubercules que l'on a considérés comme des feuilles très caduques ou rudimentaires.

La surface extérieure des calamites est quelquefois constituée par une couche de charbon très mince qui suit toutes les modifications de forme du noyau argileux ou arénacé sur lequel elle est appliquée; dans ce cas, les caractères de la plante sont à peu près les mêmes soit lorsqu'elle est dans son état d'intégrité et pourvue de son écorce, soit lorsqu'elle ne présente plus que le moule ou noyau intérieur. Dans d'autres cas, au contraire, l'écorce n'offre plus à l'extérieur les mêmes formes que le noyau qu'elle recouvre; elle est quelquefois parfaitement lisse ou à peine marquée de quelques légères ondulations, et

n'offre aucune trace d'articulation, tandis que le noyau, qui nous représente la portion intérieure de la tige détruite et sur laquelle était appliquée l'écorce charbonnée, montre des articulations très nettes et des sillons longitudinaux plus ou moins réguliers. Les tiges, ayant les caractères qui viennent d'être signalés, ont été désignées sous le nom de *Calamitea ;* mais plusieurs savants ont pensé que ces calamitea n'étaient rien autre chose que l'axe ligneux intérieur de certaines espèces de calamites, axe ligneux qui, dans les équisétacées herbacées actuelles, est réduit à de petits faisceaux vasculaires. Cette opinion a été mise hors de doute par la découverte de divers échantillons et notamment par celle d'un fragment montrant à l'intérieur une calamitea et à l'extérieur un autre cylindre vertical, cannelé sur sa surface externe, de sorte que, dans la même tige, deux calamites s'enveloppent l'une l'autre ; l'examen de ce fragment a parfaitement établi que les deux cylindres ne constituaient qu'une seule et même plante. On a été également conduit à reconnaître que le *Calamites arenaceus* n'était que la partie interne de l'*Equisetum columnare*.

On appelle *Asterophyllites* (ἀστὴρ, étoile ; φύλλον, feuille) des végétaux à tiges articulées, rameuses, portant des feuilles verticillées, étalées perpendiculairement aux rameaux, ordinairement redressées vers leurs extrémités, égales entre elles, aiguës, uninerviées, libres ou très légèrement unies entre elles par leur base. On s'accorde actuellement à voir dans les astérophyllites les feuilles et les rameaux de certaines espèces de calamites. Le *Calamites radiatus*, notamment, possède une gaîne qui, d'après M. Schimper, dont l'opinion fait autorité en pareille matière, rappelle le verticille des astérophyllites par son expansion horizontale et sa division profonde. Sous le nom de *Sphenophyllum* on a désigné des feuilles également verti-

cillées, cunéiformes, tronquées, entières ou dentées ou profondément lobées. Les sphenophyllums devaient se rapprocher beaucoup des astérophyllites; peut-être même appartenaient-ils quelquefois au même individu (1).

Les *Annularia* se lient d'une manière presque insensible aux astérophyllites; quelques espèces, telles que les *Annularia longifolia* et *brevifolia*, paraissent former un genre à part. Celles-ci semblent avoir été des plantes herbacées, constituées par des rameaux portant des verticilles de feuilles linéaires, toutes étalées dans le même plan et au nombre de 24 à 30. M. Ad. Brongniart pense que ces *Annularia* flottaient à la surface des eaux à la manière des *Callitriche*.

Les plantes décrites sous le nom de *Volkmannia* n'étaient, d'après M. Ad. Brongniart, que des individus en fructification de divers astérophyllites et, par conséquent, de calamites.

Lycopodiacées; lepidodendrons, sigillaria, stigmaria; végétaux à racine stigmariée. — De nos jours, les lycopodiacées sont des plantes à tiges rampantes, étalées sur le sol ou s'élevant perpendiculairement à une faible hauteur; le *Lycopodium densum*, de la Nouvelle Zélande, qui a un mètre de haut, paraît être l'espèce la plus élevée de cette famille. La tige, chez les lycopodiacées, est

(1) « Le docteur Newberry, de l'Ohio, a découvert dans la houille de ce pays des tiges fossiles munies vers le sommet de feuilles cunéiformes semblables à celles du sphenophyllum, tandis que, plus bas, les feuilles étaient tubuleuses et capillaires, et auraient certainement reçu le nom d'astérophyllites si on les avait trouvées détachées. De ce fait, le docteur a conclu que le sphenophyllum était une plante aquatique dont les feuilles supérieures flottantes étaient larges et offraient une disposition complexe dans leurs nervures, tandis que les feuilles inférieures ou submergées étaient linéaires et munies d'une seule nervure. Une pareille supposition, ajoutait-il, acquiert beaucoup de probabilité par la longueur extrême et la ténuité des branches de cette plante, dont la nature herbacée semble avoir exigé pour milieu un élément plus dense que l'air. » (Lyell.)

presque toujours rameuse, sans bourgeons axillaires, à ramification s'opérant toujours par bifurcation de l'extrémité, d'où résulte une dichotomie dans laquelle les deux branches sont tantôt égales, tantôt inégales, l'une d'elles prenant alors l'apparence d'un simple rameau latéral; intérieurement, cette tige présente, plongée dans une masse cellulaire, un axe formé de vaisseaux scalariformes. Les racines, toujours adventives, sortent des points de bifurcation de la tige et se divisent également par dichotomie régulière; elles ont une structure semblable à celle de la tige. Les feuilles sont nombreuses, petites, verticillées ou en spirale, à structure cellulaire. Les capsules renfermant les spores sont insérées à la base des feuilles et à leur surface supérieure; elles sont disséminées sur la tige ou ramassées vers l'extrémité des branches en forme de châtons.

Les lycopodiacées abondent principalement sous la zone équatoriale. Les plantes réellement analogues aux lycopodes actuels, et ayant vécu pendant les temps géologiques, sont très peu nombreuses. Mais, autour du type actuel des lycopodiacées, viennent se placer plusieurs formes végétales dont l'histoire géologique est à peu près la même que celle des calamites. Je viens d'indiquer les principaux caractères de l'organisation des lycopodiacées parce qu'on les retrouve dans les lépidodendrons, les sigillaires, etc., types qui atteignaient jadis une bien plus grande taille que les lycopodiacées actuelles.

Les savants, qui se sont occupés de botanique fossile, ont établi un grand nombre de genres parmi les végétaux qui se rattachaient au type des lycopodiacées; je me bornerai à mentionner les genres *Lepidodendron* et *Sigillaria*.

On donne le nom de *Lepidodendron* (λεπὶς, écaille; δένδρον, arbre), à des tiges arborescentes, terminées par un faisceau

de branches résultant d'une dichotomie plus ou moins régulière. Intérieurement, ces tiges présentent un cercle continu de gros vaisseaux autour d'un cylindre central de tissu médullaire, ce qui établit une différence entre leur structure et celle des lycopodiacées actuelles. A leur surface, elles montrent des cicatrices foliaires, régulièrement disposées en spirale, de forme rhomboïdale, ovale ou lancéolée, contigues ou presque contigues, séparées par des sillons qui dessinent un réseau très régulier. Les lépidodendrons avaient des feuilles (*Lepidophyllum*) linéaires-lancéolées, souvent très longues, décurrentes, très nombreuses. Ils avaient pour fruits les *Lepidostrobus* (λεπὶς, écaille; στρόϐος, strobile, cône) formés d'un axe conique autour duquel naissaient des écailles très serrées.

Les *Sigillaria* (*sigillum,* sceau) se présentent sous la forme de tiges cylindriques, régulières, non ramifiées, rarement dichotomes et seulement vers le sommet. Leur structure intérieure montre une moelle centrale, entourée d'un cercle ligneux séparé en faisceaux par des rayons médullaires; cet axe ligneux offre un diamètre très faible par rapport à celui de la tige qui varie entre 0^m,30 et 1^m,50 ; l'écorce paraît avoir été dure et résistante ; la partie intérieure de la tige se décomposait plus rapidement que la partie extérieure et le tronc finissait par devenir creux tout en conservant sa position verticale. A sa surface, la tige était cannelée longitudinalement, non articulée et présentait des cicatrices foliaires disposées en quinconce; ce sont ces cicatrices qui ont valu au genre *Sigillaria* le nom qu'il porte. La tige des sigillaires s'élargit en forme de cône vers la base et, en s'implantant quelquefois sur les couches de houille, constitue ces sortes de bornes coniques que les mineurs désignent sous le nom de *cloches*. On ne connaît pas encore les feuilles et le fruit des sigillaires, mais on sait main-

tenant que les *Stigmaria* dont il va être question n'étaient rien autre chose que leurs racines.

M. Ad. Brongniart plaçait, en 1849, les sigillaires parmi les dicotylédonées gymnospermes ; mais on s'accorde actuellement à les ranger dans la famille des lycopodiacées ; elles semblent, par leur aspect général, être intermédiaires entre les équisétacées dont elles ont les cannelures et les fougères dont elles se rapprochent par leurs cicatrices foliaires.

On a longtemps méconnu la véritable nature des *Stigmaria*. Pour Lindley, c'étaient des végétaux tout spéciaux dont les tiges, rampantes sur le sol ou au fond de l'eau, sortaient d'une tige centrale en forme de dôme. M. Ad. Brongniart pensait, au contraire, que les *Stigmaria* étaient des racines développées dans l'eau ou le sable et partant de la base conique des tiges de sigillaires. De nombreuses observations faites en Allemagne, en France, en Angleterre et en Amérique, ont mis cette opinion hors de doute ; mais, ainsi que le fait observer M. Schimper, « elles sont loin de fixer d'une manière incontestable les espèces ou même le genre de végétaux auxquels il faut définitivement les rapporter. Il est vrai que L. W. Binney a trouvé le *Sigillaria reniformis* réuni à sa souche garnie de racines et qui porte tous les caractères du *Stigmaria ficoïdes*, mais Ric. Brown a rencontré, de son côté, le même *Stigmaria* constituant la racine du *Sigillaria alternans* ; il existe, au musée de Bonn, une magnifique souche de *Stigmaria* avec ses racines, se continuant en un tronc de sigillaire qui pourrait bien appartenir à une troisième espèce. Les *Stigmaria*, unis à leurs troncs de sigillaires, ont tous été trouvés, jusqu'à présent, dans les formations houillères, où abondent les espèces de ce dernier genre. Mais que fera-t-on des innombrables restes de *Stigmaria* rencontrés dans la grauwacke vosgienne qui n'a jamais révélé la moindre trace

d'une sigillaire quelconque, tandis qu'il abonde en troncs de lépidodendrons ? Pourquoi les troncs de ces végétaux problématiques, qui doivent avoir eu des dimensions plus considérables que leurs racines, n'auraient-ils laissé au moins une trace quelconque de leur existence, tandis que ces dernières se montrent souvent d'une conservation admirable, et que de nombreux fragments d'autres végétaux arborescents, qui étaient associés aux *Stigmaria* dans une flore commune, sont parvenus jusqu'à nous ? Cela ne prouverait-il pas qu'il faudrait aussi attribuer des racines stigmariées aux lépidodendrons ? »

M. Ad. Brongniart avait été conduit à soupçonner la nature des *Stigmaria* en tenant compte de leur situation par rapport aux couches de houille ; les *Stigmaria* se trouvent toujours au mur de ces couches, c'est à dire au dessous d'elles, dans les grès qui leur servent de base, tandis que la plupart des autres débris de végétaux se rencontrent dans le toit, c'est à dire immédiatement au dessus des couches de houille. Les falaises de South Joggins (Nouvelle Ecosse) ont fait voir à sir Lyell des sigillaires en position verticale ; de leur extrémité inférieure partaient, comme racines, des *Stigmaria* (1).

Les *Stigmaria* (στίγμα, tache, cicatrice) constituent des corps cylindriques, qui se divisent plusieurs fois par dichotomie ; leur structure intérieure est la même que celle des sigillaires. Leur surface est parsemée de tubercules mamelonnés disposés en quinconces réguliers ; on voit quelquefois ces tubercules servir de point de départ à des filaments allongés, cylindriques, qui étaient les radicelles des stigmaria et que l'on considérait jadis comme en étant les feuilles.

Pour compléter cette étude de l'organisation des sigillaires

(1) D'après M. Gœppert, les *Stigmaria* sont tellement abondants dans les bassins houillers de l'Allemagne, qu'ils forment la masse du combustible.

et des *Stigmaria*, je rappellerai que M. Gœppert, ayant vu, en contact immédiat avec les extrémités des *Stigmaria* dont ils n'étaient séparés que par un étranglement, des tubercules couverts de cicatrices stigmatiformes, s'est cru autorisé à les considérer comme des organes multiplicateurs de cette plante, analogues aux tubercules de beaucoup de nos plantes vivaces.

Marais avec forêts de sigillaires ; rôle des stigmaria. — En tenant compte de la structure et du mode de végétation des arbres à racine stigmariée, on peut se faire une idée de l'aspect général d'une forêt de sigillaires et de lépidodendrons. A la surface des eaux, les *Stigmaria* irradiaient dans tous les sens autour des arbres dont ils dépendaient ; ils s'entrelaçaient et formaient un sol mouvant ou radeau au dessus d'un marais ou d'un lac peu profond ; leur tissu spongieux rendait ce radeau très léger et lui permettait de supporter toute une végétation luxuriante. Sur ce sol mobile des sigillaires se dressaient jusqu'à une hauteur de 15 à 20 mètres ; leurs tiges droites, d'un diamètre uniforme, dépourvues de feuilles, semblables à des colonnes, se pressaient les unes à côté des autres. Entre les sigillaires, des fougères non arborescentes et d'autres plantes pouvant vivre dans l'obscurité ou à l'abri des rayons solaires, formaient un fourré impénétrable. A mesure que les sigillaires devenaient plus hautes et plus nombreuses, le radeau de *Stigmaria*, obligé de supporter un poids sans cesse croissant, s'enfonçait dans l'eau, cessait de constituer une masse vivante et commençait à se transformer en combustible. Mais, au dessus de lui, d'autres *Stigmaria* naissaient soit des spores ou organes reproducteurs tombés des sigillaires, soit des tubercules appartenant aux racines préexistantes. Ces *Stigmaria* déterminaient un second radeau qui se superposait au radeau

primitif en se soudant à lui ; en même temps, elles donnaient naissance à une deuxième génération de sigillaires ; une nouvelle forêt remplaçait insensiblement celle qui tendait à disparaître. Les tiges des sigillaires, à mesure qu'elles tombaient de vétusté, se joignaient aux débris de végétaux qui croissaient à côté d'elles, pour augmenter la masse des *Stigmaria* dont la partie inférieure était essentiellement le siége de la formation de la houille. Le mode de végétation des *Stigmaria* montre comment la superposition de générations de sigillaires, en se répétant plusieurs fois, a pu, dans un temps moins long qu'on ne l'avait cru, donner origine à des bancs de combustible. (Voir *posteà*, page 211.) Les sigillaires étaient organisées pour empiéter insensiblement sur le domaine des eaux, pour vivre dans un sol humide et même à la surface des lacs peu profonds ; à cause de leur mode de développement, leur croissance et, par suite, la formation du combustible n'avaient, sur un point donné, d'autre limite qu'un changement dans la constitution topographique ou dans la nature du sol (1).

Rôle des calamites, des fougères et des conifères. — On voit que le rôle des *Stigmaria* est tout à fait comparable à celui des sphaignes. Mais pouvons-nous trouver dans les bassins houillers la trace d'une végétation rappelant, par son rôle, les plantes aquatiques qui ont pour mission de transformer les lacs en marais et, par suite, en dépôts de combustible ? Je ne sais si, dans l'état actuel de nos connaissances, il est possible de répondre à cette question d'une manière satisfaisante. Je me bornerai à faire remarquer que cette végétation était sans doute

(1) Je dois rappeler que c'est M. G. Bronn, professeur à Heidelberg et récemment enlevé à la science, qui, le premier, a eu l'idée d'établir une relation directe entre les *Stigmaria* et la formation de la houille.

composée de calamites et surtout des équisétacées ayant pour feuilles les astérophyllites et les *Annularia*.

Quant à la végétation représentée, dans les tourbières, par le bouleau et le pin sylvestre, il est probable que, dans les houillères, c'étaient les fougères qui en tenaient la place. Les fougères, en effet, aiment les climats humides, mais non les marais. Elles ne devaient prendre possession du terrain que lorsque les dépressions marécageuses où se formait la houille étaient complétement mises à sec et par conséquent lorsque la végétation des sigillaires avait cessé. A la suite d'un nouveau changement dans la constitution du sol, les conifères succédaient aux fougères exactement comme les forêts de chênes et de hêtres succèdent, dans les tourbières, aux bouleaux et aux pins sylvestres.

Aspect général d'un bassin houiller. — Afin de nous rendre compte de la structure et de la disposition des bassins houillers, reportons-nous à l'époque où s'effectuait leur comblement.

Pendant la première partie de la période paléozoïque, le sol d'un grand nombre de contrées n'a pas cessé d'obéir à une impulsion de bas en haut ; mais, dès le commencement de la période houillère, une impulsion en sens contraire a commencé à se produire pour persister jusque vers le commencement de la période triasique. Alors, en vertu d'un mouvement de bascule qui exhaussait les montagnes pour abaisser les vallées, se sont établies ces dépressions plus ou moins vastes que leur configuration et le combustible qu'on y trouve nous font désigner sous le noms de *bassins houillers*.

L'apparition de ces bassins a été accompagnée d'une accumulation de débris de roches provenant, ainsi que l'indiquent leur fort volume et leurs angles quelquefois peu émoussés, des

montagnes voisines. Ces débris constituent le substratum de chaque bassin ; ils forment une sorte de base sur laquelle les bancs de combustible et les roches d'origine inorganique se superposent. Ces roches d'origine inorganique sont des schistes et des grès ; elles possèdent presque toujours une coloration noirâtre qui leur imprime un caractère spécial.

Tous les bassins houillers n'offraient pas la même configuration et la même étendue ; leur remplissage ne s'effectuait pas non plus dans les mêmes conditions.

Certains bassins houillers étaient occupés, sur toute leur étendue, par un seul et même marais ; la formation de la houille y avait lieu, ainsi que la croissance des *Stigmaria*, d'une manière non interrompue dans le sens horizontal. De nos jours, les solutions de continuité que l'on constate dans un pareil bassin ne sont qu'apparentes ; elles sont l'œuvre exclusive des failles ou des phénomènes d'érosion. A divers intervalles, le marais était mis à sec par suite soit du soulèvement du sol, soit de tout autre accident ; d'autres fois, au contraire, les eaux s'exhaussaient tellement que la végétation des *Stigmaria* n'était plus possible. Dans un cas et dans l'autre, la formation du combustible était suspendue. Des roches détritiques venaient continuer le comblement du bassin et les schistes, en voie de se déposer, recevaient les empreintes des feuilles des fougères qui étaient entraînées des montagnes voisines ou qui croissaient à la place des sigillaires momentanément disparues. Plus tard les eaux revenaient à un niveau favorable à la végétation des *Stigmaria* et la formation du combustible reprenait son cours. Les mêmes événements, en se répétant, déterminaient ces alternances de houille, de grès et de schistes que l'on observe dans tous les bassins houillers.

Supposons maintenant une dépression marécageuse plus ou

moins vaste et traversée par un ou plusieurs cours d'eau. Outre les alternances qui viennent d'être décrites et qui se produiront dans le sens vertical, il s'en établira d'autres dans le sens horizontal. La formation du combustible sera, en effet, suspendue dans les zones traversées par les cours d'eau. Une même assise pourra être composée de houille sur certains points et de schiste ou de grès sur d'autres. Le déplacement des cours d'eau d'un point à un autre accroîtra d'ailleurs cette irrégularité dans la distribution des matériaux remplissant un même bassin. Les bancs de combustible, dans un bassin tel que celui que nous avons actuellement en vue, se trouvent fréquemment interrompus et ces interruptions résultent de causes, les unes, contemporaines du comblement de ce bassin, les autres, postérieures.

Accordons une étendue encore plus vaste à la dépression recouverte de marais de *Stigmaria*, et représentons-nous dans sa partie centrale un lac plus ou moins profond. Les alternances dans le sens vertical conserveront leur raison d'être ; il en sera de même pour les alternances dans le sens horizontal, mais celles-ci deviendront plus prononcées. En effet, la végétation des sigillaires et la production du combustible seront reléguées vers les bords du bassin, tandis que dans la partie centrale de ce bassin s'accumuleront des bancs puissants et nombreux de grès et de schistes. On conçoit que, dans ce cas, les bancs de houille exploités sur les bords d'un bassin devront cesser à une certaine distance. Il est des cas où des sondages peuvent seuls indiquer à un ingénieur si les couches de combustible sont continues sur toute l'étendue de son exploitation.

Je mentionnerai, en dernier lieu, une catégorie spéciale de marais de *Stigmaria*. Ce sont ceux qui occupaient les deltas ou étaient situés le long du littoral maritime. Dans ce cas, les

mouvements du sol amenaient non seulement un mélange de bancs de combustible et de roches détritiques, mais aussi des alternances de formations terrestres et de formations marines.

Périodes de la houille et de l'anthracite : circonstances qui ont favorisé la formation de ces combustibles. — La houille proprement dite ne s'est constituée que pendant une seule période, celle que l'on nomme, à juste titre, la *période houillère*. Pourquoi, pendant cette période, la houille s'est-elle accumulée en amas si puissants, tandis que plus tard il ne s'en est plus formé à la surface du globe ? Pour répondre à cette question, l'on a invoqué et l'on invoque encore la présence dans l'atmosphère d'une énorme quantité d'acide carbonique qui aurait favorisé le développement d'une végétation exubérante. Mais c'est là une hypothèse gratuite et qu'il est temps de faire disparaître de la science. Je démontrerai (livre XII, chapitre I) que la proportion d'acide carbonique contenue jadis dans l'atmosphère n'était pas plus considérable que de nos jours.

Parmi les causes qui, à divers degrés, ont exercé une influence favorable sur la formation de la houille, je mentionnerai : 1° une végétation luxuriante ; 2° l'abaissement de la température ; 3° l'apparition d'un climat pluvieux ; 4° l'affaissement lent et progressif du sol. (Voir *posteà*, page 211). Mais ces causes ont pu agir à d'autres époques et ne suffisent pas pour expliquer pourquoi la houille est spéciale à une période déterminée. En dernière analyse, pour retrouver la raison d'être du phénomène que nous avons en vue, il faut donc avoir recours à une cause spéciale et cette cause nous la trouvons dans cette circonstance que les sigillaires, l'agent essentiel de la formation de la houille, n'ont plus fait partie de la flore de notre planète dès le commencement de la période permienne.

Dès que les diverses espèces de sigillaires et de végétaux analogues ont été détruites, le phénomène de la formation des combustibles, et surtout des combustibles constitués sur place, s'est développé sur une échelle plus restreinte. Il n'a pu reprendre une allure semblable à celle qu'il avait pendant la période houillère que lorsque les mousses, et peut-être aussi les *Taxodium*, ont ramené à la surface du globe une végétation pouvant jouer un rôle semblable à celui des sigillaires.

Mais les sigillaires sont les premiers végétaux qui se soient montrés à la surface du globe ; elles existaient dès le commencement de la période dévonienne et il est probable que de nouvelles découvertes permettront de reporter à une date plus ancienne le moment de leur première apparition. Ce fait admis, deux questions, que nous allons essayer de résoudre, se présentent à notre examen. Pourquoi, pendant les périodes dévonienne et carbonifère, ne s'est-il formé que des amas de combustible d'une faible importance? Pourquoi ce combustible possède-t-il les caractères de l'anthracite et non de la houille?

Les circonstances qui ont été énumérées tout à l'heure comme ayant favorisé la formation de la houille n'existaient pas antérieurement à la période houillère. Le climat était beaucoup plus chaud et moins pluvieux ; au lieu de continents avec des dépressions marécageuses la terre ferme présentait des îles de peu d'étendue; le sol, au lieu de s'affaisser, s'exhaussait à chaque instant et les débris de végétaux se trouvaient ainsi abandonnés à l'action décomposante de l'atmosphère. Peut-être aussi la température était-elle trop élevée pour que les sigillaires pussent croître en abondance et des dépressions marécageuses se constituer.

En faisant abstraction des cas de métamorphisme de contact, on peut dire que l'anthracite a été considéré à tort comme une

houille débituminisée : c'est une roche *sui generis*, qui doit à son origine et aux circonstances qui ont accompagné sa formation les caractères qu'elle présente aujourd'hui. Quelles sont les causes qui, jusque vers le commencement de la période houillère, ont imprimé au phénomène de la formation des combustibles une allure telle qu'au lieu de se terminer par la formation d'une houille plus ou moins grasse, il a abouti à la création d'un anthracite ou d'une houille sans bitume? Ces causes me paraissent assez nombreuses; chacune d'elles a pu exercer séparément une influence très faible, mais leur action simultanée a suppléé à leur faible énergie.

Si nous comparons ce qui a dû se passer lors de la période de l'anthracite et celle de la houille, nous voyons d'abord que, pendant la première, l'écorce terrestre offrait moins d'épaisseur; elle était, en outre, moins refroidie, et, à conditions égales, la température intérieure pour un point donné était plus élevée qu'elle devait l'être plus tard. Remarquons encore que la plupart des régions où se trouvent les gisements d'anthracite, les Alpes et les Alleghanys, par exemple, étaient le siége de phénomènes éruptifs qui ont aussi contribué à élever la température. Rappelons-nous enfin que les causes, en partie indéterminées, qui ont subitement abaissé la température lors de la période houillère, ne fonctionnaient pas encore lors de la période de l'anthracite. On ne doit donc pas hésiter à admettre que le milieu dans lequel l'anthracite s'est constitué avait une plus haute température que celui où s'est opérée la formation de la houille. Or, nous avons posé en principe qu'un combustible, les autres circonstances de sa production restant les mêmes, est d'autant plus pauvre en oxygène et en hydrogène que, pendant sa carbonisation naturelle, il a été soumis à une température plus élevée.

Les circonstances topographiques et climatologiques que j'ai mentionnées comme s'étant opposées à la formation de puissants amas de combustible ont dû également contribuer à donner à l'anthracite les caractères qui le distinguent. L'absence de vastes continents et la sécheresse du climat s'opposaient à l'accumulation de ces puissantes assises de grès et de schiste qui, lors de la période houillère, devaient recouvrir complétement et rapidement les débris de végétaux destinés à se carboniser. Les mouvements du sol, qui s'exhaussait au lieu de s'affaisser, avaient aussi pour effet d'exposer pendant plus longtemps à l'action décomposante de l'atmosphère les débris de végétaux qui, au moment de leur enfouissement définitif, avaient déjà subi un commencement de carbonisation.

Distribution géographique des bassins houillers. — Si nous recherchons quel est, au point de vue géographique, le mode de distribution des bassins houillers, nous voyons d'abord qu'il n'en existe pas en Afrique. Les premiers qui se présentent, dans l'ancien monde, lorsqu'on se dirige de l'équateur vers les pôles, sont ceux de l'Andalousie qui offrent d'ailleurs peu d'importance. On peut donc placer la limite méridionale de la zone des gisements de houille vers le 37e degré de latitude. A mesure que l'on se dirige vers le nord, les bassins houillers se montrent de plus en plus nombreux et étendus; ils atteignent leur maximum d'extension entre le 49e et le 54e degré de latitude : on n'en rencontre plus, en Europe, au delà du 56e degré de latitude. L'Amérique septentrionale est la région la plus riche en gisements de houille; la zone où ces gisements existent est comprise entre le 32e et le 50e degré de latitude ; on voit qu'elle offre à peu près la même largeur qu'en Europe, mais elle est plus rapprochée de l'équateur de

8 degrés environ. Il est remarquable que cette zone subisse en Amérique une inflexion semblable à celle que les lignes isothermes y présentent de nos jours. L'Amérique méridionale ne possède pas de gisements houillers; les combustibles qu'on y a rencontrés ont été considérés à tort comme de la houille; ce sont de vrais lignites d'une époque relativement moderne. Il existe des gisements de houille dans l'Australie, la Nouvelle Zélande et la Chine; ceux de ce dernier pays sont, à ce qu'il paraît, d'une grande richesse.

Sur toute la surface du globe, on observe la même tendance dans les dépôts de houille à s'éloigner tout à la fois de l'équateur et des pôles pour se concentrer dans une zone dont la largeur est de 20 degrés environ et qui oscille entre les 32e et 56e degrés de latitude sud et nord. Ce mode de distribution nous paraît ne pouvoir s'expliquer que d'une seule manière: il est probable que les sigillaires, de même que les mousses actuelles, ne pouvaient se développer avec abondance que dans les régions à température peu élevée.

La zone, qui a été exclusivement le siége de la formation de la houille, occupe à peu près le cinquième de la surface totale du globe; mais la houille n'a pu se constituer sur toute l'étendue de cette zone qui devait être en partie recouverte par les eaux de la mer. En supposant que les deux tiers de cette zone fussent émergés, il en résulte que l'espace où la houille a pu se produire égalait à peine les 2/15 de la surface du globe. Mais cet espace n'a pas été en totalité envahi par la houille. Le terrain houiller occupe 1/10 du territoire de l'Angleterre, 1/12 de celui de la Belgique et 1/100 de celui de la France (1).

(1) J'inscris ici, pour représenter l'extension du terrain houiller en Angleterre, en France et en Belgique, des nombres plus forts du double que ceux que l'on donne habituellement. Cette différence tient à ce que j'ai dû tenir

Son extension est encore plus faible en Espagne et nulle dans quelques pays qui, tels que l'Italie, se trouvent pourtant dans la zone des houillères. Prenons pour représenter l'étendue moyenne des bassins houillers dans cette zone le nombre qui correspond à la France, en d'autres termes, supposons que la houille occupe un centième de la zone où sa formation était possible, nous arriverons à cette conclusion que la houille recouvre les 2/1500 de la superficie de notre planète. Si l'on admet ensuite que, dans chaque bassin houiller, l'épaisseur moyenne du combustible est de 40 mètres, il en résulte que toute la houille appartenant à notre planète formerait, si elle était uniformément répartie à sa surface, une couche de 0m,05. Cette évaluation est un maximum, puisque, dans toutes les données qui ont servi de base à nos calculs, nous avons employé les appréciations les plus fortes.

Analogies entre les tourbières et les houillères. — En prenant connaissance des faits qui viennent d'être exposés au sujet des tourbières et des houillères, le lecteur a dû remarquer les nombreuses analogies qui existent dans les phénomènes qui ont présidé à la formation de la tourbe et de la houille.

a) La houille et la tourbe résultent d'une transformation chimique de végétaux; la tourbe étant moins ancienne que la houille, cette transformation est, pour elle, moins avancée et moins complète. *b*) La houille et la tourbe se sont formées, non par voie de charriage, mais sur place; elles se sont constituées dans des marais ou dans des lacs peu profonds. *c*) Les végétaux qui ont concouru à la production de la houille et de la tourbe appartiennent presque en totalité au groupe des cryp-

compte de la partie du terrain houiller qui est cachée sous les formations plus récentes et dont l'existence n'a pas encore été constatée par l'observation directe.

togames acrogènes; ils croissent indéfiniment par le sommet, tandis qu'ils périssent par la base. Le rôle dévolu aux sphaignes dans les tourbières, appartenait, dans les houillères, aux sigillaires et aux végétaux à racine stigmariée. *d*) Les tourbières reposent ordinairement sur une nappe de terre argileuse qui rend l'eau stagnante et dont le rôle a été jadis rempli par les argiles et les schistes du terrain houiller; les grès de ces mêmes terrains correspondent aux bancs de sable qui alternent avec la tourbe. *e*) Le fer carbonaté des houillères est représenté dans les tourbières par le fer des marais; l'un et l'autre se sont constitués à la suite des mêmes actions physiques et chimiques. *f*) Dans les houillères comme dans les tourbières actuelles, trois végétations distinctes, jouant chacune un rôle spécial, se sont succédées à plusieurs reprises. *g*) Les tourbières et les houillères offrent la même distribution géographique. La zone de la tourbe coïncide avec celle de la houille. En outre, chacun de ces combustibles est spécial à une période géologique qu'il contribue à caractériser.

Je viens de décrire, dans ce chapitre, les phénomènes qui ont présidé à la formation de la houille et à l'établissement des bassins houillers. Depuis leur dépôt, les bancs de houille et les lits de grès ou de schiste avec lesquels ils alternent ont de plus en plus subi l'influence des actions dynamiques qui s'exercent sur l'écorce terrestre. Ils ont peu à peu perdu leur horizontalité primitive; ils ont été brisés, disloqués et contournés dans tous les sens. Fréquemment aussi, la forme et l'épaisseur des bancs de combustible s'est modifiée par suite des pressions inégales qu'ils ont dû supporter. Ces phénomènes postérieurs au dépôt de la houille ont déjà été décrits (voir livre VII, chapitre I, II et III).

CHAPITRE IV.

THÉORIE GÉNÉRALE, AU POINT DE VUE GÉOLOGIQUE, DE LA FORMATION DES COMBUSTIBLES ET DES ROCHES CARBONÉES.

Accumulation des débris de végétaux. — Formation des combustibles sur place et par voie de charriage. — Exemples pris dans le delta du Mississipi. — Forêts de Taxodium. — Lignite de la Bresse. — Circonstances favorables à la formation des combustibles ou susceptibles d'exercer une influence sur leurs caractères minéralogiques ; effets de l'eau, de la pression, de la température, de la végétation, du climat, de la composition de l'atmosphère et des mouvements du sol. — Origine des hydrocarbures. — Répartition géologique et géographique des combustibles fossiles et des roches carbonées. — Temps nécessaire à la formation d'un amas de combustible.

Accumulation des débris de végétaux. — La formation de la houille et de la tourbe sont des cas particuliers d'un phénomène général que je vais maintenant étudier dans son ensemble. Les procédés que la nature a mis en œuvre pour accumuler sur un point déterminé les débris de végétaux destinés à se transformer en combustible sont au nombre de deux. Tantôt ces débris ont été transportés plus ou moins loin de leur lieu d'origine et entassés dans les lacs, à l'embouchure des fleuves et au fond de la mer; tantôt des végétaux, en vertu de circonstances spéciales, se sont changés en combustible sur la place même où ils ont vécu. En un mot, il y a un mode de formation du combustible *par charriage* et un mode de formation *sur place* ; je vais les décrire tous les deux en empruntant des exemples à l'époque actuelle et aux temps géologiques.

Formation des combustibles sur place. — La condition essentielle pour que le changement des végétaux en combustible puisse s'effectuer, c'est que leurs débris soient mis à l'abri du contact de l'air. Par conséquent, dans le cas où des végétaux doivent se transformer en combustible sur place, il faut, pour que cette condition se trouve remplie, que ces végétaux, pendant qu'ils existent, soient plongés en totalité ou en partie dans l'eau ou dans un milieu très humide. Il en est ainsi pour les dépôts tourbeux d'origine exclusivement marine ; ces dépôts sont formés de *Fucus*, d'*Ulva* et de *Zostera* (1), qui constituent, au fond de la mer, de véritables prairies ondoyant sous l'influence des courants. On conçoit que les *Zostera* puissent à la longue déterminer des lits plus ou moins épais d'un combustible qui est, d'ailleurs, de mauvaise qualité. Mais la flore marine est excessivement pauvre, surtout en végétaux ligneux; les arbres, dont les tiges et les branches concourent à la formation des combustibles ne vivent pas au fond de l'océan et ne peuvent croître que sur le sol émergé. De cette nécessité, combinée avec la condition essentielle de la présence de l'eau, on en conclut que, chaque fois qu'il y a formation de combustible sur place, le phénomène s'est effectué dans des dépressions lacustres ou marécageuses et a exigé une végétation particulière. C'est ce que nous venons de constater en recherchant dans quelle circonstance la houille et la tourbe s'étaient produites. Ces deux combustibles ne sont peut être pas les seuls qui

(1) Les *Zostera* sont des monocotylédonées de la famille des naïadées; elles croissent submergées sur les côtes de presque toutes les mers; leur tige rampante porte des feuilles linéaires, rubannées, engaînantes à leur base. Les feuilles des *Zostera marina* sont employées comme engrais et pour les emballages. Quant aux *Ulva*, *Fucus*, etc., ce sont des cryptogames dont les formes varient beaucoup et dont la structure est toujours cellulaire.

aient pu se former sur place, ainsi que nous l'indiquerons en parlant des phénomènes dont les anciennes forêts de *Taxodium* ont pu être le siége ; l'idée du rôle que ces forêts ont peut-être jadis rempli nous sera suggérée par l'observation de ce qui se passe dans le delta actuel du Mississipi.

C'est en accumulant sur place les débris de végétaux que la nature opère lorsqu'elle veut créer de puissants amas de combustible. Les amas de combustible ainsi formés présentent des caractères généraux que j'ai déjà signalés en partie lorsque j'ai décrit les tourbières et les houillères et que je vais résumer.

Les combustibles constitués sur place offrent une plus grande pureté que ceux qui résultent d'un charriage ; les agents de transport tendent, en effet, à charrier pêle-mêle des matières terreuses avec les troncs d'arbres. D'ailleurs, les eaux limoneuses qui pénétraient dans une forêt, siége de la formation du combustible, étaient soumises à une sorte de filtration à travers les plantes qui formaient au pied des arbres un fourré impénétrable. Les roseaux et les plantes qui couvrent les bords des eaux stagnantes, dans la vallée et le delta du Mississipi, forment une végétation tellement luxuriante, que les eaux de ce fleuve, en passant au travers des massifs, deviennent tout à fait limpides avant d'atteindre les points où croissent les forêts de *Taxodium* dont je vais parler dans le paragraphe suivant. Les combustibles produits sur place constituent des bancs très étendus, d'une épaisseur uniforme et d'une allure régulière. Presque toujours, ils se sont accumulés dans des eaux douces ; aussi sont-ils ordinairement recouverts et supportés par des roches d'origine terrestre et lacustre. La stagnation des eaux où le combustible se forme sur place suppose un sol imperméable; aussi les bancs de houille sont-ils généralement superposés à des strates schisteuses, tandis que les bancs de tourbe ont pour substra-

tum un lit de limon argileux. Enfin, il est un dernier caractère commun aux phénomènes qui ont accompagné la formation sur place d'un combustible quelconque ; c'est que, dans les dépressions où s'est effectuée la formation de ce combustible, trois végétations distinctes se sont succédées à plusieurs reprises, pendant que le sol était alternativement abandonné ou recouvert par des eaux plus ou moins profondes.

Exemple pris dans le delta du Mississipi. — Le Mississipi, qui tout à l'heure nous fournira un exemple d'une accumulation de débris de végétaux à la suite d'un charriage, va nous montrer, dans son delta, un ensemble de phénomènes qui, après ce que nous avons dit sur les tourbières et les houillères, achèveront de faire comprendre quelles sont les conditions essentielles pour qu'il y ait formation de combustible sur place.

J'ai déjà donné une idée sommaire du delta du Mississipi (tom. I, pag. 384 et suivantes) ; j'ai dit comment les rives de chacune de ses branches et de ses bayous constituent les points les plus élevés de tout le pays et laissent entre elles des espaces recouverts de marécages. Mais ces marécages tendent à se combler par l'accumulation soit des débris de végétaux croissant sur place, soit des matériaux charriés par le fleuve. Ces changements dans la nature du sol en amènent d'autres dans la végétation. Le delta du Mississipi montre : 1° des fondrières occupées par de grandes herbes et des roseaux formant des prairies ondoyantes ; 2° des forêts de cyprès chauve (*Cupressus disticha*, Lin. *Taxodium distichum*, Ric.), dont les racines pénètrent et persistent dans le fond argileux ; 3° des forêts de chênes verts ou chênes vivaces. Des sondages, poussés jusqu'à une profondeur de 600 pieds, ont montré que, sur le

même point, ces trois végétations sont superposées dans l'ordre où elles viennent d'être indiquées, c'est à dire que la même localité avait d'abord été occupée par un marais avec roseaux, puis par un sol plus ou moins humide où croissaient les cyprès chauves, et enfin par un sol complétement desséché où se montraient alors les chênes vivaces. Ces superpositions se répètent dix fois, ce qui indique un affaissement du sol agissant en sens inverse de l'exhaussement occasionné par le dépôt des matériaux que le fleuve charrie. Quelques uns des cyprès rencontrés dans les profondeurs du sol accusent, d'après le nombre de leurs cercles d'accroissement, un âge de 5700 ans. Admettons maintenant qu'au lieu de ces cyprès chauves le sol eût été couvert de végétaux propres à la formation du combustible; les sondages pratiqués dans le delta auraient rencontré dix bancs de lignite, au lieu d'amas plus ou moins réguliers de troncs d'arbre fossilisés; chacun de ces bancs serait superposé à un lit formé de débris de plantes marécageuses et recouvert de débris d'arbres se développant dans un sol moins humide que celui où auraient vécu les arbres ayant déterminé la formation du combustible.

L'idée que je viens d'exposer pour expliquer la production du combustible est en partie théorique puisque les troncs de cyprès chauve ne paraissent pas s'être accumulés en assez grande abondance pour déterminer la formation d'un véritable lignite. Mais nous avons vu que cette idée se trouve parfaitement réalisée dans les tourbières et les houillères; pour les unes et les autres, nous avons montré que chaque banc de combustible est presque toujours le résultat de trois végétations successives.

Ce qui s'observe dans le delta du Mississipi peut aussi nous aider à comprendre comment des bancs de combustible pas-

sent dans le sens horizontal à des grès et à des argiles ou alternent avec ces roches dans le sens vertical. Sur les points déprimés du delta, là où se trouvent les fondrières de roseaux et où croissent les forêts de cyprès chauve, il pourra se produire des amas de combustible ; mais, à côté, près des rives de chaque branche du fleuve, il se déposera du sable et du limon. Par conséquent, pendant le même moment et dans la même région, il se produira des amas de combustible et des dépôts de sable et d'argile ; les uns et les autres se trouveront sur le même niveau ; il existera entre eux une transition insensible de sorte que le combustible passera à l'état d'argile ou de sable en se pénétrant d'une quantité croissante de matières terreuses. Maintenant, supposons que les diverses branches du fleuve changent de place, et envahissent l'espace primitivement occupé par une dépression marécageuse, cette dépression se comblera de limon, de sable et de gravier, qui formeront une assise placée au dessus d'un banc de combustible primitivement établi ; sur les points désertés par le fleuve et peu après changés en marais, un banc de combustible viendra recouvrir le sable et le limon antérieurement accumulés. C'est ainsi que se sont produites les dix alternances dont l'existence a été démontrée par les sondages. Supposons, en dernier lieu, que le delta s'affaisse et soit envahi par les eaux de l'océan. La formation du combustible pourra persister sur le même point, mais alors ce sera par voie de charriage ; elle pourra aussi, selon les circonstances, être totalement suspendue. Un dépôt effectué au fond de l'océan viendra recouvrir tous les bancs de combustible et les lits d'argile et de sable constitués immédiatement avant l'affaissement du sol. Un phénomène inverse pourra expulser les eaux salées et ramener les fondrières de roseaux et les forêts de cyprès chauve. Ces phé-

nomènes, en se répétant, auront pour résultat la superposition de formations marines et de formations terrestres, avec ou sans combustible.

Anciennes forêts de taxodium. — Dans le delta du Mississipi, le sol est sujet à changer fréquemment de niveau; sa configuration est encore rendue plus variable par le déplacement incessant des branches du fleuve. Aussi, les forêts de cyprès chauve ne peuvent pas croître longtemps sur le même point et donner origine, par l'accumulation sur place des tiges et des racines d'arbres, à des lits de combustible puissants et continus. Mais ce résultat pourrait être atteint dans le cas où ces forêts de cyprès chauve croîtraient dans des dépressions marécageuses semblables à celles où la houille s'est formée. De nos jours, on ne connaît pas de forêts de cyprès chauve se développant dans ces conditions : mais il est probable qu'il en existait antérieurement à l'époque actuelle. Je suis porté à croire que quelques dépôts de lignite se sont constitués sur place et doivent leur existence à d'anciennes forêts de *Taxodium*. Un fait signalé par M. Gœppert me semble venir à l'appui de cette opinion; le *Taxodium distichum* du delta du Mississipi est l'une des trois espèces dont l'existence se laisse poursuivre, sur le sol de l'Europe, depuis la période miocène supérieure jusqu'à l'époque actuelle, sous le nom de *Taxodites dubius*, Stern. (1).

(1) Le *Taxodium distichum* croît dans les parties tempérées du Mexique, à une hauteur de 5000 à 7000 pieds; il abonde dans les endroits humides, le long des cours d'eau de la portion orientale de l'Amérique du Nord, sans dépasser jamais le 43e degré de latitude. C'est un des arbres qui acquièrent les dimensions les plus colossales; ainsi le tronc de celui qui existe dans les jardins de Chapultepec, au Mexique, et qui est connu sous le nom de cyprès de Montézuma, a 18 mètres de circonférence, et l'on en cite même un, situé près

Caractères généraux des combustibles formés par charriage. — Si le transport des éléments qui entrent dans la composition d'un amas de combustible formé par charriage a été violent, ces éléments seront disposés sans ordre. Si ce transport s'est effectué d'une manière plus tranquille, le dépôt présentera dans son ensemble une allure moins tourmentée, mais le combustible sera plus ou moins terreux à cause de son mélange avec le limon qui était charrié en même temps que les arbres. Enfin, si le transport a eu lieu d'une manière lente, régulière et continue, il se sera opéré entre les éléments charriés une sorte de triage, en vertu des principes déjà mentionnés (tome I, page 355). A la suite de ce triage, le bois, plus ou moins séparé du sable et du limon avec lequel il était d'abord entraîné, se déposera sur des points distincts et pourra donner origine à un combustible d'une certaine pureté. Mais on reconnaîtra encore que ce combustible est la conséquence d'un charriage, parce qu'il formera des bancs peu étendus dans le sens horizontal, et très variables d'épaisseur à des distances très rapprochées. Dans tous les cas, on devra considérer, comme s'étant formés à la suite d'un transport, tout amas de combustible intercalé entre des strates marines et lacustres, lorsque, dans l'histoire du pays où cet amas existe, rien ne démontrera qu'il y ait eu

d'Oajaca, qui mesure 39 mètres de circonférence, et est entouré de cinq ou six autres de la dimension de celui de Chapultepec. Cette espèce se reconnaît à ses rameaux et ramules étalés et à ses feuilles linéaires et distiques. Il est connu vulgairement sous le nom de *cyprès chauve.* » (*Dict. d'hist. nat.* de d'Orbigny.) Le genre *Taxodium*, qui ne comprend que des espèces américaines et à feuilles caduques, a été formé aux dépens du genre *Cupressus*. Plus tard, on a détaché des *Taxodium* les espèces spéciales à l'Asie orientale et à feuilles persistantes, pour en former le genre *Glyptostrobus*; ce dernier genre comprend un assez grand nombre d'espèces fossiles de l'Europe : c'est à lui qu'il faut rapporter le *Taxodium Europæum*.

émergement du sol pendant l'époque où ce combustible se formait.

Exemple pris dans le delta du Mississipi ; surtarbrandur d'Islande ; lignite de la Bresse. — Chaque année, au printemps, lors de la fonte des neiges du nord, le Mississipi déborde. A partir de sa jonction avec le Missouri, ses eaux accrues par celles de ses 1500 affluents, sont surchargées de matières terreuses à tel point qu'on le prendrait pour un courant de boue. En même temps, le fleuve charrie d'énormes radeaux et un nombre prodigieux de troncs isolés; tantôt ceux-ci suivent les courants de la surface et menacent les navires qui remontent le fleuve, tantôt ils flottent à la dérive et vont battre en brèche les levées destinées à prévenir les inondations. Les arbres flottants sont quelquefois arrêtés par divers obstacles, tels que les îles et les bas-fonds; ils forment alors des *rafts* ou radeaux qui embrassent toute la largeur du fleuve, et finissent par constituer un sol mobile sur lequel d'autres arbres peuvent croître. En 1835, l'Etat de la Louisiane dut prendre des mesures pour détruire un raft qui entravait la navigation sur l'Atchafalaya, une des branches du Mississipi; ce raft avait déjà, en 1816, près de quatre lieues de longueur et, depuis lors, son étendue n'avait pas cessé d'augmenter.

Les arbres charriés par le Mississipi sont en majeure partie déposés dans le golfe du Mexique près de l'embouchure de ce fleuve; quelques uns ont un plus long parcours; ils sont saisis par le gulf-stream qui les transporte dans l'Océan Atlantique et les pousse même sur les côtes de la Norwège et de l'Islande. Tôt ou tard, ils doivent être abandonnés par le courant marin qui les entraîne, puisque celui-ci, comme tous les cours d'eau, tend à rejeter sur ses rives les corps légers qu'il charrie ; d'ailleurs,

le bois, en se pénétrant d'eau, devient plus lourd et tend à se diriger vers les profondeurs où le courant n'est plus sensible. Si nous suivons dans son voyage un des arbres ainsi transportés par le Missisipi dans le golfe du Mexique, nous le verrons finir par être rejeté en dehors du courant ; il s'arrêtera au fond de la mer sur un point où d'autres arbres, pour lesquels les mêmes circonstances se produiront, viendront le rejoindre. On conçoit que des forêts entières puissent ainsi être transportées par lambeaux au fond des lacs ou des mers, s'y accumuler en amas considérables, puis, par suite d'un changement dans la direction des courants, se recouvrir de sable et de vase et se transformer lentement en combustible.

Les exemples que l'on peut observer d'une accumulation de combustible par charriage sont très rares pour l'époque actuelle, parce que la presque totalité des dépôts de lignite de formation récente est encore sous les eaux. On peut citer pourtant le lignite ou bois fossile désigné en Islande sous le nom de *surtarbrandur*. On en connaît, au fond de la baie de Virki, un amas de 110 mètres de long sur 12 d'épaisseur ; il est composé de plusieurs couches ondulées, intercalées entre des roches d'origine volcanique. Cet amas est recouvert d'une nappe basaltique de trente mètres d'épaisseur. Le bois est quelquefois à peine altéré et peut être employé pour la construction ; mais, d'autres fois, le voisinage des roches volcaniques a eu pour résultat de le transformer en lignite piciforme et même en une sorte d'anthracite. Le surtarbrandur a été formé par charriage; le bois dont il se compose est, en bonne partie, venu de loin; la végétation rachitique de l'Islande n'a fourni que quelques troncs de bouleaux. Le gulf-stream apporte les troncs d'une espèce d'acajou ne croissant que dans les contrées qui entourent le golfe du Mexique; ces troncs sont

percés de tarets qui ne vivent que dans les mers du nord. Les essences que l'on rencontre le plus fréquemment sont les conifères et les bouleaux qui sont transportés par les fleuves de la Sibérie, traversent l'Océan Glacial et n'arrivent qu'après s'être dépouillés, en se heurtant contre les glaces, de leurs rameaux, de leurs racines et de leur écorce.

Un exemple, plus ancien que celui que je viens de citer, d'une accumulation de combustible par charriage nous est fourni par le lignite et le bois fossile exploités dans la Bresse et dans le Dauphiné. J'ai déjà mentionné le lac qui occupait toute la dépression bressane (tome I, page 361). De nombreuses forêts recouvraient la région dont ce lac était entouré, et leurs débris, entraînés dans ses eaux, devaient par la suite se transformer en combustible. L'origine de ce combustible est accusée par la manière dont les racines, les branches et les troncs d'arbres gisent pêle-mêle dans les argiles avec lesquelles le combustible alterne. Des galets et des cailloux roulés, des coquilles fluviatiles et lacustres, des ossements de mammifères que l'on rencontre çà et là, démontrent l'existence du phénomène de charriage dont la formation du lignite a été la conséquence ; ils achèvent de convaincre que les arbres qui sont aujourd'hui plus ou moins changés en combustible ne se trouvent pas sur la place où ils ont vécu.

Circonstances favorables à la formation des combustibles ou pouvant exercer une influence sur leurs caractères minéralogiques. — La nature d'un combustible dépend d'abord de l'état où se trouvaient les débris de végétaux qui ont concouru à sa formation lorsque leur enfouissement s'est opéré. Nous avons vu, en effet, que les végétaux ont pu, avant leur enfouissement, subir un commencement de carbonisation dont le passage

de la tourbe à l'acide ulmique nous fournit un exemple. Evidemment les débris de végétaux, ainsi appauvris d'une partie de leur oxygène et de leur hydrogène, donneront origine à des combustibles moins riches en principes bitumineux que ceux qui auront été immédiatement enfouis dans le sol et mis, d'une manière absolue, à l'abri du contact de l'oxygène de l'air. Peut-être est-ce dans cette circonstance qu'il faut chercher en partie l'explication de la différence qui existe entre les diverses variétés soit de houille, soit de lignite, et même entre la houille proprement dite et l'anthracite.

Influence de l'eau. — Il est absolument nécessaire que les débris de végétaux soient immédiatement reçus dans l'eau ou enfouis dans le sol pour que leur transformation en combustible puisse s'effectuer ; si l'une ou l'autre de ces conditions n'est pas remplie, les débris de végétaux se changent en substances gazeuses qui se répandent dans l'atmosphère et en terreau ou en acide ulmique destinés à disparaître à leur tour. L'eau, si nous en jugeons par le phénomène du tourbage, agit encore plus favorablement dans le sens de la transformation des végétaux, lorsqu'elle est stagnante et peut se pénétrer de substances antiseptiques. Cet état de la stagnation plus ou moins complète de l'eau existe ou a existé dans les marais où se produit la tourbe, dans les dépressions marécageuses où la formation de la houille s'est opérée et dans les profondeurs des lacs ou des mers où les débris de végétaux aujourd'hui transformés en lignite ont été entraînés.

Influence de la pression.— La pression exercée sur un amas de végétaux est déterminée soit par la nappe d'eau au fond de laquelle ces végétaux se sont accumulés, soit par le sable, le limon et le gravier qui viennent le recouvrir en bancs plus ou moins épais. Cette pression a d'abord pour effet de favoriser

la transformation des végétaux parce qu'elle rapproche les unes des autres les molécules dont ils se composent ; elle empêche que les substances gazeuses résultant de la formation du combustible disparaissent ; elle ne permet pas, enfin, à l'air atmosphérique d'arriver au contact du combustible.

Influence de la température. — Les expériences que j'ai relatées au commencement du premier chapitre font voir que la chaleur est favorable à la carbonisation des végétaux, lorsque cette carbonisation s'opère en vase clos. Mais, dans la nature, toute communication entre l'atmosphère et la masse végétale en voie de se carboniser est rarement interrompue d'une manière complète pendant les premiers temps qui suivent l'enfouissement des débris de végétaux. Si la température de l'atmosphère ou celle du sol sont trop élevées, la décomposition des débris de végétaux s'effectuera d'une manière rapide et sera terminée avant que l'arrivée de nouveaux sédiments les ait mis à l'abri du contact de l'air en les recouvant d'une nouvelle nappe. Il se produira le même effet qui se manifesterait dans la fabrication du charbon en meules si on n'arrêtait pas la combustion du bois au moment convenable. Aussi, la formation du combustible n'a-t-elle pu avoir lieu que sur les points et pendant les époques où la température était relativement basse. Les tourbières et les bassins houillers n'apparaissent qu'à une certaine distance de la zone intertropicale, et, s'il existe des gisements de lignite dans le voisinage de l'équateur, c'est que ce lignite s'est formé au fond de l'océan où la température est toujours très basse.

Influence du temps. — La nature n'a pas eu recours, dans la formation des combustibles, à la chaleur, puisque l'intervention d'une température plus ou moins élevée est, dans les circonstances ordinaires, une condition défavorable à cette

formation. D'ailleurs, même en admettant que des débris de végétaux soient enfouis immédiatement après leur destruction, la source de chaleur dont la nature peut disposer se trouve à une grande profondeur dans l'intérieur de l'écorce terrestre; nous avons vu qu'elle remplace par le temps l'action résultant d'une haute température.

Influence de la végétation. — Quoique l'état imparfait de nos connaissances ne nous permette pas d'apprécier à sa juste valeur l'influence exercée par la nature des végétaux sur l'aspect et les caractères minéralogiques d'un combustible, cette influence ne nous en paraît pas moins incontestable. Evidemment, les circonstances restant les mêmes, un combustible exclusivement formé de troncs de conifères différera, sous un rapport ou sous un autre, de celui qui proviendra de mousses, de sigillaires, etc. Plus tard, j'aurai à m'occuper des transformations successives de la flore à la surface du globe. Ici, je dois me borner à indiquer sommairement quels sont les végétaux dont les débris, à chaque époque, ont concouru à la formation des combustibles. Ces végétaux, pendant toute la période paléozoïque, appartenaient exclusivement au groupe des cryptogames arborescentes. Pendant la majeure partie de la période mésozoïque, c'étaient des gymnospermes, conifères et cycadées; on a proposé le nom de *stipite* pour des combustibles du terrain jurassique qu'à tort ou à raison on présume formés de troncs ou stipes de cycadées. Pendant la période crétacée, les angiospermes ont commencé à se montrer à la surface du globe et à participer, avec les gymnospermes, à la formation des combustibles. Enfin, de nos jours, le rôle jadis rempli par les sigillaires a été dévolu aux humbles végétaux de la famille des mousses et surtout du genre *Sphagnum*.

J'ai suffisamment indiqué comment le mode de végétation

des plantes exerçait une grande influence sur le caractère des combustibles. Je n'ai pas besoin d'ajouter qu'à conditions égales, l'abondance du combustible accumulé sur un point donné dépend de la richesse de la végétation dans la contrée et à l'époque où il s'est formé.

Influence du climat, de la composition de l'atmosphère et des mouvements du sol. — Le climat exerce une influence considérable sur la formation des combustibles puisque, comme nous l'avons constaté, les gisements de tourbe et de houille sont concentrés dans une zone qui ne commence que vers le 40e degré de latitude nord ou sud et se prolonge ensuite vers l'un ou l'autre pôle. On peut conclure de là que les climats chauds ne sont pas favorables à la production des combustibles.

Un climat pluvieux favorise doublement la formation des combustibles. Dans les pays et lors des époques dont le climat est pluvieux, les dépressions marécageuses qui sont fréquemment le siége d'une production de combustible, doivent gagner en nombre et en étendue. Des pluies abondantes donnent plus d'énergie aux phénomènes de transport et plus de puissance aux amas d'argile, de sable et de gravier qui, en recouvrant les débris de végétaux, exercent une forte pression sur eux et les mettent à l'abri du contact de l'air atmosphérique.

Les mouvements du sol, lorsqu'ils sont dirigés de haut en bas, et surtout lorsqu'ils se produisent dans le voisinage de la mer, ont pour résultat de déterminer l'arrivée de sédiments qui concourent également à préserver les débris de végétaux du contact de l'atmosphère.

Temps nécessaire à la formation d'une couche de combustible. — Lorsque le combustible se constitue sur place, le temps nécessaire à sa formation varie beaucoup; il dépend notamment de

l'énergie des agents de transport et de l'étendue des forêts couvrant les régions qui environnent le point où s'accumulent les débris de végétaux. Des évaluations plus précises peuvent être indiquées lorsqu'il s'agit d'un combustible formé sur place; du moins, ces évaluations sont alors resserrées entre certaines limites qu'il est facile d'établir une fois que l'on s'est fait une idée de l'origine de ce combustible. Jusque dans ces derniers temps, on a donné des appréciations beaucoup trop fortes relativement à la longueur du temps qu'a exigé la formation des combustibles. On a calculé, par exemple, que, d'après la quantité d'acide carbonique actuellement contenue dans l'atmosphère et la végétation de nos forêts, certaines couches de houille auraient exigé 500000 ans pour se constituer et que toute la période houillère aurait eu une durée de neuf millions d'années. Je ne puis admettre ces évaluations; on sait, en effet, par des expériences directes et des calculs, qu'un hectare d'une forêt de haute futaie de 100 ans, réduite à l'état de houille, produirait une couche de 15 millimètres d'épaisseur : il ne faudrait donc que 6660 ans pour la production d'une couche d'un mètre d'épaisseur, ce qui, pour un bassin houiller dont toutes les couches de combustible réunies auraient une puissance totale de 40 mètres, correspondrait à une durée de 266400 années, nombre auquel il faudrait ajouter celui qui représente le temps qu'a exigé le dépôt des roches détritiques avec lesquelles la houille alterne. Après cette addition, on aurait un nombre représentant approximativement la durée de la période houillère. Ce nombre serait certainement bien moins élevé que celui de neuf millions d'années qui vient d'être indiqué; mais nous allons voir qu'il serait encore trop fort, ce qui démontre combien est exagérée l'idée que l'on se fait de la durée des temps géologiques.

Dans les bassins houillers du midi de la France, quelques couches de houille ont jusqu'à trente mètres d'épaisseur et, d'après ce qui précède, leur formation aurait exigé une durée de près de 200000 ans. Or, la production d'une couche de combustible est un phénomène essentiellement continu : pendant toute sa durée, aucune modification ne doit être apportée à la constitution générale de la contrée où il se manifeste; il est peu probable qu'il en ait été ainsi durant un intervalle de 200000 ans dans les localités où se formaient les couches auxquelles je viens de faire allusion. En réalité, le nombre 6660 ans qui a été indiqué pour représenter le temps qu'a exigé la formation d'une couche de houille d'un mètre d'épaisseur est trop fort. Pour l'adopter sans réserve, il faudrait oublier que les végétaux dont se composaient les forêts de la période houillère étaient acrogènes et qu'en pressant les unes contre les autres leurs tiges droites et élancées, ils déterminaient des masses de bois bien plus considérables que celles de nos futaies actuelles; il faudrait oublier aussi que la végétation de cette période était bien plus vigoureuse qu'elle ne l'est actuellement dans les régions de la zone tempérée, et que les sigillaires, formées d'un tissu peu dense, avaient une croissance plus rapide que celle des chênes et des hêtres de notre époque.

D'ailleurs, comment admettre qu'une couche de houille d'un mètre d'épaisseur ait nécessité pour sa formation plus de six mille ans, lorsqu'on sait qu'un siècle suffit pour que des plantes aussi humbles que les mousses produisent un banc de tourbe ayant trois mètres de puissance. Une pareille disproportion ne saurait s'expliquer quelle que soit la diminution de volume que la tourbe éprouve par suite de la pression et d'une carbonisation plus complète. Nous pensons que 500 ans ont

largement suffi à la production d'une couche de houille d'un mètre d'épaisseur; cette manière de voir revient à reconnaître que chaque génération de sigillaires avait une durée de 50 ans, et que chacune d'elles déterminait une nappe d'un décimètre d'épaisseur par l'accumulation des racines stigmariées, des troncs d'arbres et des plantes croissant entre les sigillaires.

Distribution géographique et géologique des roches hydro-carbonées. — Lorsque notre planète se trouvait encore à l'état nébuleux, l'hydrogène et le carbone, alors dissociés, occupaient chacun une zone distincte. Mais, dès que la température a commencé à s'abaisser, les diverses substances ont pu se combiner entre elles; le carbone et l'hydrogène ont donné origine, sous la seule influence des forces physiques, à des composés de divers ordres. Il a dû se former alors des masses considérables d'hydrocarbures qui ont été retenues prisonnières au dessous de l'écorce terrestre primitive, absolument comme toutes les substances qui plus tard devaient, grâce à l'action geysérienne, revenir à la surface du globe et contribuer à l'édification des masses sédimentaires. Telle est, selon nous, l'origine de l'huile de pétrole formant de vastes nappes souterraines dans l'Amérique septentrionale et d'autres contrées. Aussi, avons-nous considéré les accumulations de substances hydrocarbonées qui existent dans les strates sédimentaires à l'état gazeux, liquide ou solide, comme un cas particulier du phénomène général désigné sous le nom d'action geysérienne.

En outre des hydrocarbures d'origine inorganique dont la formation remonte aux temps cosmiques, les terrains sédimentaires se montrent pénétrés de ceux qui naissent journellement dans les foyers volcaniques. Dans ces foyers se continuent, mais sur une plus petite échelle, les réactions chimiques qui

ont eu lieu lorsque toute la masse du globe, encore dépourvue d'enveloppe solide, se trouvait à l'état incandescent.

Contrairement à ce que nous avons constaté pour la houille et la tourbe, il n'existe pour les substances hydrocarbonées aucune relation entre leur âge et leurs caractères physiques ou chimiques. Les variations qu'elles présentent quant à leurs divers caractères sont indépendantes des terrains où elles se rencontrent; toutes les formations, depuis les plus anciennes jusqu'aux plus modernes, en possèdent des gisements. Les phénomènes qui leur ont donné naissance se manifestent indistinctement sous toutes les latitudes, depuis les régions circumpolaires jusqu'à l'équateur; aussi ne devons-nous pas nous étonner s'il n'est pas possible de reconnaître la moindre relation entre la nature des substances hydrocarbonées et leur mode de distribution géographique.

Répartition générale des combustibles fossiles. — Lorsque les premières roches sédimentaires se sont déposées, la vie n'existait pas encore à la surface du globe, et c'est cette absence de tout être organisé qui nous a fait considérer les roches carbonées appartenant aux terrains granitique et stratocristallin comme ayant une origine non organique. Les roches carbonées spéciales à ces terrains sont le diamant et le graphite. Ces terrains renferment aussi, comme tous ceux qui entrent dans la composition de l'écorce terrestre, des hydrocarbures. Quelquefois, le quartz du granite présente lui même des traces de ces substances; certaines variétés de quartz ont une odeur empyreumatique que l'on explique par le mélange intime dans sa masse d'une matière bitumineuse; d'autres sont criblées de cavités très petites contenant deux liquides dont on a pu constater la nature oléagineuse.

A mesure que l'on s'élève dans la série des terrains sédimentaires, on voit quelques roches prendre une nuance noirâtre et se pénétrer de carbone, comme les schistes ampélitiques, ou de matières bitumineuses, comme les calcaires fétides. On doit considérer ce carbone et ces matières bitumineuses comme ayant pu avoir une origine organique à dater du moment où les êtres organisés ont commencé à habiter la surface du globe; nous verrons, dans un des chapitres suivants, qu'il n'est pas impossible que des êtres d'une organisation très simple aient vécu dans les eaux de l'océan pendant la période neptunienne que nous désignons aussi, peut-être à tort, sous le nom de période azoïque.

Dans l'état actuel de nos connaissances, c'est au terrain silurien qu'il faut rattacher les amas de combustibles fossiles les plus anciens que l'on connaisse. Ces amas existent notamment en Portugal et en Bohême; le combustible y est à l'état d'anthracite, ainsi que dans les gisements de la Loire Inférieure, qui appartiennent au terrain dévonien et dans ceux du département de la Loire et de Sablé, qui dépendent du terrain carbonifère.

On peut dire que la période trilobitique est celle de l'anthracite. Pourtant le combustible placé à la partie inférieure de certains bassins houillers offre quelquefois le caractère d'anthracite. Il en est de même pour le combustible qui existe dans les Alpes et les Alleghanys. Le combustible du massif alpin est, en effet, anthraciteux, et les recherches faites pendant ces dernières années ont démontré, d'une manière incontestable, que les strates où il a son gisement appartiennent bien au terrain houiller et non, comme plusieurs géologues l'ont soutenu jusqu'à présent, au terrain jurassique. Quand on s'éloigne des Alpes pour se rapprocher du centre de la France, on voit le

ont eu lieu lorsque toute la masse du globe, encore dépourvue d'enveloppe solide, se trouvait à l'état incandescent.

Contrairement à ce que nous avons constaté pour la houille et la tourbe, il n'existe pour les substances hydrocarbonées aucune relation entre leur âge et leurs caractères physiques ou chimiques. Les variations qu'elles présentent quant à leurs divers caractères sont indépendantes des terrains où elles se rencontrent; toutes les formations, depuis les plus anciennes jusqu'aux plus modernes, en possèdent des gisements. Les phénomènes qui leur ont donné naissance se manifestent indistinctement sous toutes les latitudes, depuis les régions circumpolaires jusqu'à l'équateur; aussi ne devons-nous pas nous étonner s'il n'est pas possible de reconnaître la moindre relation entre la nature des substances hydrocarbonées et leur mode de distribution géographique.

Répartition générale des combustibles fossiles. — Lorsque les premières roches sédimentaires se sont déposées, la vie n'existait pas encore à la surface du globe, et c'est cette absence de tout être organisé qui nous a fait considérer les roches carbonées appartenant aux terrains granitique et stratocristallin comme ayant une origine non organique. Les roches carbonées spéciales à ces terrains sont le diamant et le graphite. Ces terrains renferment aussi, comme tous ceux qui entrent dans la composition de l'écorce terrestre, des hydrocarbures. Quelquefois, le quartz du granite présente lui même des traces de ces substances; certaines variétés de quartz ont une odeur empyreumatique que l'on explique par le mélange intime dans sa masse d'une matière bitumineuse; d'autres sont criblées de cavités très petites contenant deux liquides dont on a pu constater la nature oléagineuse.

houille, puisque cette période est la seule pendant laquelle ce combustible s'est formé. Le lecteur trouvera l'énumération des principaux bassins houillers dans la partie de cet ouvrage où il sera question du terrain houiller considéré au point de vue de la géologie systématique.

Toutes les formations comprises entre les terrains permien et miocène inclusivement renferment des gisements de lignite et ne possèdent pas d'autre combustible que celui-là.

Dans le terrain pliocène se trouvent également des dépôts de combustible; mais le ligneux, du moins pour les dépôts actuellement émergés, n'y a encore subi qu'une transformation incomplète.

J'ai déjà dit que la tourbe est un combustible spécial aux temps modernes; mais il s'est aussi formé pendant l'ère jovienne et il se forme encore, par voie de charriage, des amas de combustible qui sont cachés au fond des lacs et des mers.

Les conditions climatologiques exercent une grande influence sur la production des combustibles qui s'accumulent sur place; aussi avons-nous constaté que la houille et la tourbe n'étaient pas distribuées au hasard sur la surface du globe et qu'elles étaient concentrées dans une zone se maintenant à peu près à égale distance de l'équateur et des pôles. Il n'en est pas de même pour le lignite et, en général, pour tous les combustibles formés par voie de charriage. En effet, ces combustibles trouvent toujours au fond de la mer une température assez basse pour que leur carbonisation naturelle puisse s'effectuer. C'est pour cela que les gisements de lignite existent sous toutes les latitudes et se rencontrent dans le voisinage des régions polaires de même qu'entre les tropiques.

CHAPITRE V.

CLASSIFICATION ET CARACTÈRES MINÉRALOGIQUES DES ROCHES CARBONÉES.

Classification générale des combustibles fossiles. — Groupes de la tourbe, du bois fossile, du lignite, de la houille et de l'anthracite. — Caractères généraux des combustibles fossiles. — Relations entre la nature des combustibles et leur ancienneté. — Propriétés physiques : densité, couleur, poussière, éclat, structure, texture. — Composition chimique. — Usages des combustibles fossiles pour le chauffage, l'éclairage, etc. : coke. — Groupes du graphite et du diamant. — Groupe des hydrocarbures gazeux. — Groupe des hydrocarbures solides et liquides ; bitumes, naphte, pétrole, malthe et asphalte. — Roches bitumineuses.

Classification générale des combustibles. — Les combustibles fossiles peuvent se diviser en combustibles *imparfaits* et combustibles *parfaits*. Ces deux groupes se distinguent l'un de l'autre par divers caractères que je vais indiquer et surtout par le degré de transformation plus ou moins complète des substances dont ils se composent.

Chacune de ces deux grandes divisions se partage à son tour, la première en deux classes, la seconde en trois, ainsi que l'indique le tableau suivant. Ces cinq classes sont celles de la tourbe, du bois fossile, du lignite, de la houille et de l'anthracite.

Elles forment une série régulière, complétée, ainsi que je l'ai déjà dit, par le bois vivant, qui la commence, le graphite et le diamant qui la terminent. Elles se distinguent entre elles

SUBSTANCES.				TERRAINS.
A.			Bois.	Epoque actuelle.
B. COMBUSTIBLES FOSSILES.	IMPARFAITS.	I. Tourbe.	Tourbe mousseuse.	Terrain jovien.
			Tourbe feuilletée.	
			Tourbe compacte.	
		II. Bois fossile	Bois fossile.	Terrain pliocène.
			Terre de Cologne.	
			Bois ligniteux.	
	PARFAITS.	III. Lignite.	Lignite maigre.	Depuis le terrain miocène jusqu'au terrain permien inclusivement.
			Lignite collant.	
			Jayet.	
		IV. Houille.	Houille maigre.	Terrain houiller.
			Cannel coal.	
			Houille grasse.	
			Houille sèche.	
		V. Anthracite.	Anthracite.	Terrain trilobitique.
			Anth. graphiteux.	
C.			Graphite.	Terrain stratocristallin et granite primitif.
			Diamant.	

par leur gisement, leur mode de formation, la nature des végétaux qui ont concouru à leur production, leurs usages, leur composition chimique et leurs divers caractères physiques. Je vais achever de démontrer que tous ces caractères sont toujours en relation plus ou moins intime avec l'âge des combustibles auxquels ils appartiennent.

La *tourbe* (de l'allemand, *torf*, en anglais, *turf*) est un combustible formé sur place aux dépens de plantes des marais et surtout des mousses du genre *Sphagnum*. Sa densité varie considérablement suivant son état de dissécation et la proportion de matière terreuse qu'elle contient. Sa richesse en carbone est comprise entre 55 et 60 °/₀. La tourbe est un combustible spécial à l'ère jovienne et à l'époque actuelle. Elle comprend trois variétés principales, reconnaissables surtout à leur structure : la tourbe *mousseuse* ou *fibreuse*, la tourbe *feuilletée* et la tourbe *compacte* (*posted*, page 226).

Le *bois fossile* (*Braunkhole* ou *charbon brun* des Allemands) est un combustible formé par charriage aux dépens des troncs de conifères et de dicotylédonées angiospermes. Sa densité est de 1,15 en moyenne. Il contient de 56 à 67 °/₀ de carbone. C'est un combustible qui est actuellement en voie de formation et qui ne remonte guère plus haut que la période pliocène. Ses principales variétés sont : 1° le *bois fossile*, combustible qui se rapproche le plus du bois vivant par sa coloration et l'état de conservation de ses tissus : 2° la *terre de Cologne* ou *terre d'ombre*, matière terreuse, brune, douce au toucher, provenant de substances ligneuses qui se sont réduites en poussière ; 3° le *bois ligniteux* (*lignite ligneux* ou *xyloïde*), variété qui passe d'une manière insensible à celles qui font partie du groupe suivant.

Le *lignite* (de *lignum*, bois ; — une partie de la *houille*

des calcaires des anciens auteurs) est un combustible formé par voie de charriage, quelquefois, mais très rarement, sur place, aux dépens de dicotylédonées angiospermes, de conifères ou de cycadées (*stipite*). La densité moyenne est de 1,2 et sa richesse en carbone varie de 70 à 89 °/₀. Le lignite appartient aux formations comprises entre les terrains permien et miocène inclusivement. Les principales variétés de ce combustible sont : le *lignite maigre*, peu bitumineux et à éclat terne ; 2° le *lignite piciforme*, d'un noir luisant, offrant souvent un aspect tout à fait semblable à celui de la houille grasse; 3° le *jayet*, d'un noir de velours, très dur, susceptible d'un beau poli, et employé jadis pour la confection des parures de deuil.

La *houille* est un combustible formé sur place, aux dépens des cryptogames arborescentes et surtout des sigillaires et de leurs racines, les stigmaria. Sa densité est de 1,3; elle renferme de 84 à 91 °/₀ de carbone. Ce combustible est spécial à la période houillère. On classe ses principales variétés de la manière suivante : 1° *houille maigre*, très gazeuse, s'allumant avec une grande facilité, donnant une longue flamme, mais ne s'agglutinant pas ; elle établit un passage entre le lignite parfait et la variété suivante ; 2° *houille grasse à longue flamme*, contenant beaucoup de bitume, se boursouflant au feu, s'agglutinant et donnant un coke abondant ; le *cannel coal* est une sous variété de houille grasse à longue flamme (1) ; 3° *houille grasse*

(1) « Le *cannel coal* est une variété accidentelle de houille gazeuse; elle ne colle pas, mais c'est la plus avantageuse pour la production du gaz. Elle s'allume facilement, et brûle avec une flamme blanche et claire, qui l'a fait aussi nommer *candle-coal* ou *charbon candelaire;* en Angleterre, c'est le charbon d'appartement par excellence. Sa texture compacte et homogène, sa structure plateuse, son aspect terne et ligniteux, en font réellement une anomalie minéralogique. Le cannel coal est ainsi nommé du nom de la mine qui le fournit, à Worsley, dans le Lancashire; il y constitue une seule couche dont l'épaisseur

maréchale (1), se distinguant de la variété précédente par une moindre proportion d'oxygène qui est remplacé par du carbone; 4° *houille sèche*, gris d'acier, ne brûlant qu'avec difficulté, ne se gonflant pas, s'agglutinant légèrement; elle établit le passage de la houille grasse à l'anthracite; la proportion du carbone s'y accroît aux dépens de l'oxygène et de l'hydrogène; le contraire a lieu pour la houille maigre.

L'*anthracite* (ανθραξ, charbon) est un combustible formé sur place, quelquefois peut-être par charriage, aux dépens des mêmes végétaux que la houille. Sa densité est de 1,4 et sa teneur en carbone de 91 à 93 %. Ce combustible est spécial à la période trilobitique. Certaines variétés, très riches en carbone, peuvent être désignées sous le nom d'*anthracite graphiteux*.

Propriétés physiques; densité, couleur, poussière, éclat. — La densité va en croissant depuis le bois qui flotte au dessus de l'eau, jusqu'au graphite dont la pesanteur spécifique est supérieure à 2. Toutefois, les combustibles fossiles diffèrent peu entre eux sous le rapport de leur densité dont l'accroissement n'a lieu que d'une manière très lente lorsque l'on passe de l'un à l'autre. Mais cet accroissement devient subitement considérable lorsqu'on arrive au graphite, sans que l'on puisse

totale est de 1 m. 90, et qui fait partie d'un faisceau de couches de houille généralement grasse. Le cannel coal a été trouvé accidentellement en France, dans la grande masse de Montrambert et des Littes (bassin de la Loire). » (A. Burat). — Voici le résultat d'une analyse du cannel coal de Coventry : carbone, 64,72; hydrogène, 21,56; oxygène, 77; azote, 13,72. Cette analyse vient à l'appui de ce que nous avons dit au sujet de la prédominance du carbone et de l'hydrogène sur l'oxygène, dans le cannel coal.

(1) Ces houilles sont les plus estimées pour la forge, parce qu'elles produisent une grande élévation de température, et qu'on peut facilement en former, au milieu du feu, de petites voûtes sous lesquelles l'ouvrier échauffe les pièces à forger.

COMBUSTIBLES ET LOCALITÉS.	CHARBON.	CENDRES.	MATIÈRES volatiles et liquides.
Tourbe de Démérary	23,5	17,3	59,2
— de Château-Landon	26,0	15,0	59,0
— de Clermont (Oise)	30,1	17,4	52,5
— de Reims	34,9	6,8	58,5
— de Voltsuma (Bavière)	38,6	1,7	59,7
Bois fossile	44,1	1,4	54,5
Terre de Cologne	37,4	5,7	56,9
Bois bitumineux	38,4	2,5	59,1
Bois ligniteux du Dauphiné	43,6	7,4	49,0
Lignite de Marseille	49,3	3,9	46,8
Lignite de Monte Bamboli	60,0	6,0	34,0
Jayet de Sainte Colombe	61,4	1,7	37,9
Houille maigre de Cublac	70,2	7,4	22,4
— de Tuchan	56,2	20,0	24,0
— de Blanzy	76,5	2,3	21,2
— d'Epinac	74,8	5,7	19,6
Houille grasse d'Alais	68,1	6,4	25,5
— de Rive de Gier	66,5	2,0	31,5
— de Carmeaux	71,5	3,5	25,0
— de Decazeville	64,5	6,3	29,2
— de New-Castle	75,9	1,5	22,6
Cannel coal de Coventry	29,0	11,0	60,0
Houille sèche de Mons	85,0	2,3	12,7
— de Fresnes	82,4	4,2	13,4
— de Rolduc	87,7	2,7	10,3
— du Pays de Galles	79,3	1,3	19,4
Anthracite de Mandre (Isère)	91,3	2,7	6,0
— de Moutiers	70,8	21,4	7,8
— de Sablé	69,3	24,6	7,1
— de Pensylvanie	88,0	4,0	8,0
Graphite de Borrowdale (Cumberland)	96,0	1,5	2,5

COMBUSTIBLES et LOCALITÉS D'OU ILS PROVIENNENT.	Densité.	Coke.	Cendres.	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE déduction faite des cendres.		
				Carbone.	Hydrogène	Oxygène et Azote.
Bois (composition moyenne). . .	»	»	2,0	50,6	5,9	43,4
Tourbe (Champ du Feu).	»	»	5,5	60,2	6,5	33,5
» (Vulcaire)	»	»	5,6	59,6	6,0	34,5
Bois fossile (Utznach).	1,167	»	2,2	56,5	5,8	37,7
Terre d'ombre (Cologne).	1,100	56,1	5,5	66,0	5,3	28,7
Lignite imparfait (Grèce). . . .	1,185	38,9	9,0	66,4	5,5	28,2
Lignite parfait (Basses-Alpes)	1,276	49,5	5,0	71,2	5,4	23,4
» (Mont Meisner)	1,351	48,5	1,8	72,0	4,9	23,1
» (Bouches du Rhône). . .	1,254	41,1	15,4	72,8	5,3	21,9
» (Dax)	1,272	49,1	5,0	73,2	[illegible]	21,1
» (Noroy)	1,410	51,2	19,2	77,3	5,4	17,4
» (Céral).	1,294	53,3	11,9	83,4	5,3	11,3
» (Obernkirchen)	1,279	77,8	1,0	89,2	4,9	6,0
Jayet (St.-Girons)	1,316	42,5	4,1	75,0	5,7	19,3
» (Balestat)	1,305	42,0	0,9	75,1	5,8	19,1
Houille sèche (Blanzy).	1,362	57,0	2,3	77,2	5,4	17,5
Houille grasse (Alais).	1,322	77,7	1,4	89,5	5,0	5,8
» (Rive de Gier).	1,315	76,5	3,0	89,5	5,1	5,7
» (Idem).	1,298	68,5	1,8	87,8	5,2	7,0
» (Idem)	1,288	70,9	5,6	83,9	5,5	10,6
» (Newcastle)	1,280	»	1,4	88,0	5,3	6,7
» (Mons).	1,276	»	2,1	85,3	5,4	9,3
» (Lavaysse).	1,284	57,9	5,1	85,4	5,6	9,1
» (Lancashire).	1,317	57,9	2,6	84,6	5,9	9,5
» (Epinac).	1,353	62,5	2,5	82,1	5,2	12,7
» (Commentry)	1,319	63,4	0,2	81,8	5,3	12,9
Anthracite (Lamure)	1,362	89,5	4,6	92,8	4,8	5,5
» (Rolduc)	1,343	89,1	2,3	92,3	4,3	3,4
» (Pensylvanie).	1,462	89,5	4,7	93,6	2,6	3,9
» (Pays de Gallés). . .	1,348	91,3	1,6	92,8	3,4	3,9
» (Mayenne)	1,367	90,9	0,9	94,6	4,0	4,5
Graphite (Cumberland)	2,089	»	0,5	96,0	2,5	
Diamant.	3,550	»	»	100,0	»	»

inscrire, dans le tableau de la page 225, entre l'anthracite et le graphite, des substances susceptibles d'établir entre eux une transition insensible. Cette différence entre la densité du graphite et celle des combustibles fossiles est en relation avec leur diversité d'origine qu'elle met ainsi en relief.

La couleur, d'abord semblable à celle du bois, devient de plus en plus foncée. Lorsqu'on arrive au lignite, on la voit se rapprocher du noir plus ou moins pur, puis du noir velouté de la houille et enfin du noir grisâtre du graphite.

La couleur de la poussière passe aussi par les mêmes nuances, mais d'une manière moins rapide. Dans le lignite, lorsqu'il ressemble par son aspect à la houille, la poussière est encore brune. Dans la houille et l'anthracite, elle est brun noirâtre ou tout à fait noire. Dans le graphite, elle est d'un noir grisâtre, c'est à dire semblable à la mine de plomb pulvérisée.

L'éclat varie aussi en même temps que la couleur. D'abord nul dans la plupart des tourbes, des bois fossiles et des bois ligniteux, il devient de plus en plus vif; il est tantôt résinoïde, surtout dans les combustibles parfaits, riches en bitume, tantôt vitreux comme dans quelques anthracites, tantôt, enfin, métallique, comme pour le graphite. On sait que le diamant a un éclat tout particulier; sous ce rapport, cette pierre précieuse forme un groupe complétement à part dans la série des substances qui attirent notre attention.

Structure, texture. — Dans la tourbe, la texture dépend du degré de transformation des débris de végétaux. La tourbe mousseuse offre une texture spongieuse; les débris des végétaux, à peine décomposés, sont ordinairement reconnaissables. La tourbe feuilletée provient surtout de la décomposition des plantes marécageuses : chaque feuillet paraît correspondre à la

végétation d'une année. La tourbe compacte est solide, homogène, à cassure tantôt terreuse, tantôt résinoïde; elle résulte d'une transformation plus ou moins complète des deux variétés précédentes. Le bois fossile se rapproche beaucoup du bois vivant par sa couleur et l'état de conservation de ses tissus. La *terre de Cologne* est du ligneux ramené à l'état pulvérulent. Le *bois ligniteux* marque le passage des combustibles imparfaits aux combustibles parfaits.

Les combustibles parfaits constituent des substances compactes, homogènes, où les différences de texture sont mises en évidence par la cassure qui donne des surfaces conchoïdes, anguleuses, lamelleuses, schistoïdes, etc. Lorsque la texture est schistoïde, on voit des feuillets brillants alterner avec des feuillets d'un aspect mat. Ces alternances peuvent provenir de deux causes et ces deux causes sont susceptibles d'avoir agi, tantôt séparément, tantôt d'une manière concomittante. Il est possible que chaque double feuillet corresponde à une croissance annuelle, ou, lorsqu'ils atteignent dans la houille une certaine épaisseur, à une couche de racines stigmariées. Mais, dans tous les cas, il est naturel de penser que les causes qui ont déterminé la schistosité de certaines roches (tome I, page 513) sont également intervenues pour donner à la houille une structure feuilletée ou, tout au moins, pour régulariser cette structure. Nous savons, en effet, que la houille est loin de se montrer dépourvue de toute plasticité (tome II, pages 554 et suivantes).

Composition chimique. — Le tableau de la page 225 indique les quantités moyennes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène contenues dans les principaux combustibles abstraction faite des cendres. J'ai déjà signalé les conclusions auxquelles on est

conduit par l'examen de ce tableau. La quantité d'hydrogène varie peu et ne tend à diminuer d'une manière sensible que pour l'anthracite; l'hydrogène n'existe qu'accidentellement et en très faible proportion dans le graphite ; il manque totalement dans le diamant. C'est dans les combustibles bitumineux, dans le cannel coal, par exemple, que l'hydrogène se montre en plus forte proportion. La quantité d'oxygène va en diminuant et celle du carbone en augmentant, jusqu'au graphite et au diamant, où cette dernière substance se trouve à l'état de pureté.

Les résultats que je viens de rappeler sont ceux que fournit l'analyse élémentaire. En soumettant les combustibles à la distillation, on est conduit à représenter leur composition d'une autre manière et à reconnaître qu'ils sont formés de trois parties: 1° les *matières volatiles* qui disparaissent pendant la distillation et dont la nature varie suivant la qualité et le degré de transformation des combustibles; 2° le *charbon*; 3° les *cendres* que l'on obtient en brûlant le résidu charbonneux laissé après la distillation. La quantité de cendres contenue dans un combustible est importante à connaître au point de vue industriel; la valeur d'un combustible est évidemment en raison inverse de sa teneur en cendres. Au point de vue purement scientifique, ce caractère a moins de signification et ne saurait entrer comme élément essentiel dans le diagnostic des combustibles. Le même gisement montre un passage insensible entre le combustible à peu près pur ou ne renfermant que les *cendres* qui proviennent de la partie inorganique du tissu ligneux et les roches terreuses dont ce combustible est accompagné ; évidemment la quantité de cendres renfermées dans un échantillon varie avec le point où cet échantillon a été recueilli plutôt qu'avec la nature du combustible.

La nature des combustibles dépend non seulement des quantités relatives d'oxygène, de carbone et d'hydrogène, mais aussi des diverses combinaisons que ces éléments forment entre eux. Deux combustibles pourront contenir les mêmes proportions d'hydrogène et de carbone; mais ces deux éléments détermineront, par leur combinaison, tantôt des hydrogènes carbonés gazeux, tantôt des carbures d'hydrogène liquides ou solides, c'est à dire des bitumes; dans le premier cas, on aura une houille sèche à longue flamme, dans le second, une houille grasse ou collante.

La distillation indique quelques unes des substances qui entrent dans la composition d'un combustible, mais elle ne les fait pas connaître toutes; d'ailleurs quelques uns des corps qui se dégagent pendant l'opération n'existent pas naturellement dans les combustibles et sont un produit de la distillation elle même.

M. E. Fremy a publié sur les caractères chimiques des combustibles fossiles un mémoire important dont je vais reproduire un résumé. «En admettant que la tourbe, le bois fossile, le lignite, la houille et l'anthracite se sont formés dans des circonstances différentes et qu'ils appartiennent à des terrains d'âges variables, j'ai voulu suivre, dans ces variétés de combustibles, le degré d'altération du tissu organique. — L'étude de la tourbe ne m'a présenté aucun fait réellement nouveau : à côté des organes élémentaires non altérés que l'on rencontre en si grande quantité dans la tourbe fibreuse, j'ai trouvé, suivant l'altération de ce combustible, des proportions variables de ces composés bruns, neutres ou acides, azotés ou non azotés, que nous désignons sous le nom général de composés ulmiques; la présence de ces corps vient, du reste, établir une distinction nette entre la tourbe et les tissus organiques non altérés. — Quoique

le lignite xyloïde ou ligneux ait souvent la ténacité et l'apparence du bois ordinaire, j'ai reconnu que, dans ce produit, le tissu ligneux a éprouvé une profonde modification ; il se réduit en poudre fine par la trituration ; soumis à l'action d'une dissolution étendue de potasse, il cède à l'alcali une quantité considérable d'acide ulmique. Les deux réactions suivantes viennent établir une différence bien tranchée entre le bois ordinaire et le lignite xyloïde. Lorsque l'acide azotique réagit à chaud sur le bois, il dissout une partie seulement des fibres et rayons médullaires et laisse la matière cellulosique très pure qui se dissout sans coloration dans l'acide sulfurique concentré. Dans les mêmes circonstances, le lignite xyloïde est attaqué avec une grande énergie et transformé complétement en une résine jaune, soluble dans les alcalis et dans un excès d'acide azotique. Les hypochlorites dissolvent rapidement une partie des fibres et des rayons médullaires, mais ils laissent la matière cellulosique à l'état de pureté ; le lignite xyloïde se dissout presque entièrement dans ces réactifs en ne laissant que des traces impondérables de fibres et de rayons médullaires incolores. Par conséquent, lorsque les tissus ligneux sont arrivés à l'état de lignite xyloïde, ils ont éprouvé dans leur substance une modification profonde ; ils contiennent alors des principes immédiats nouveaux caractérisés par leur solubilité complète dans l'acide azotique et dans les hypochlorites. — Lorsqu'on soumet un lignite compacte à l'action de la potasse concentrée, on voit quelquefois la liqueur se colorer en brun et dissoudre une petite quantité d'acide ulmique ; mais ordinairement la liqueur alcaline ne réagit pas sur le combustible, ce qui établit une distinction entre le lignite xyloïde et le lignite compacte. J'ai toujours reconnu que les lignites qui résistent à l'action de la potasse sont ceux qui par leur gisement se rapprochent le plus

des terrains houillers. Les lignites compactes noirs et brillants comme la houille se dissolvent entièrement dans les hypochlorites alcalins, sont attaqués avec la plus grande rapidité par l'acide azotique, en produisant cette résine jaune dont j'ai parlé en traitant du lignite xyloïde. Ces deux caractères ne permettent pas de confondre les lignites et les houilles. — Ces derniers combustibles ne se dissolvent pas dans les hypochlorites et ne sont attaqués que lentement par l'acide azotique. La houille et l'anthracite se dissolvent d'une manière complète dans un mélange d'acide sulfurique monohydraté et d'acide azotique ; la liqueur prend une coloration brune très foncée, et tient en dissolution un composé ulmique que l'on peut précipiter complétement. »

Les combustibles sont fréquemment pénétrés de sulfure de fer, tantôt en quantité à peine appréciable, tantôt en proportion suffisante pour ne pas être employés dans l'industrie. On peut poser en principe que les pyrites ferrugineuses sont ordinairement moins abondantes dans les combustibles formés sur place, tels que la houille et la tourbe, que dans les combustibles formés par charriage. Parmi les combustibles qui se rangent dans cette dernière catégorie, les plus pyriteux sont ceux qui ont pris origine dans les eaux marines. Ce que j'ai dit sur le rôle joué par le fer dans les phénomènes géologiques d'ordre organique explique pourquoi les combustibles sont plus ou moins chargés de sulfure de fer suivant le milieu où ils se sont formés ; je crois inutile d'insister davantage à ce sujet.

Tous les combustibles ne sont pas employés aux mêmes usages dans l'industrie et l'économie domestique. Si les diverses qualités que l'on reconnaît dans les combustibles en employant les procédés dont le métallurgiste dispose permettent d'indiquer à l'avance les usages auxquels ils peuvent être affectés, d'un

autre côté, la manière dont ils se comportent lorsqu'on les emploie fournit de nouveaux caractères que le géologue met à profit pour achever de les distinguer les uns des autres.

Le pouvoir calorifique des combustibles fossiles est en relation avec leur richesse en carbone. L'anthracite est celui dont le pouvoir calorifique est le plus considérable, mais il s'enflamme difficilement et brûle avec une flamme courte et bleuâtre; sa combustion exige une ventilation très active. A mesure que l'on se rapproche des combustibles de l'époque actuelle, le pouvoir calorifique diminue rapidement.

La propriété collante n'existe que dans la houille et quelques lignites parfaits qui s'en rapprochent beaucoup par tous leurs caractères. Ces combustibles ont la faculté de se ramollir et de se coller sous l'influence de la chaleur; cette faculté dépend des rapports entre l'oxygène et l'hydrogène. Plus il y a d'hydrogène en excès sur l'oxygène, plus la houille est collante; quand la proportion d'hydrogène devient considérable, comme dans les bitumes, il ne reste presque pas de coke à la distillation; presque tout le carbone se volatilise à l'état d'hydrogène carboné.

D'après ce qui vient d'être dit sur la composition des houilles collantes et sur leur manière de se comporter pendant la distillation explique pourquoi elles sont employées pour la fabrication du gaz d'éclairage. Les principes qui concourent à la formation de ce gaz étant le carbone et l'hydrogène, on conçoit que les meilleures sont celles qui renferment le plus d'hydrogène libre, c'est à dire d'hydrogène en excès lorsqu'on a fait abstraction de celui qui est employé par la combustion de l'oxygène.

L'anthracite change peu d'aspect par la calcination; ses fragments conservent leurs arêtes et ne se collent pas entre eux.

Le *coke* est le produit de la calcination de la houille ; c'est une substance poreuse comme la pierre ponce, d'autant plus dure que les pores sont moins grands et présentant une couleur gris de fer. Les houilles ne donnent pas toutes la même quantité de coke, et ce coke n'a pas toujours le même aspect. Les houilles grasses et fortes donnent un coke métalloïde peu boursouflé, dense et doué d'une forte cohésion ; elles fournissent le meilleur coke pour les hauts fourneaux. Les houilles grasses maréchales produisent un coke métalloïde très boursouflé, et les houilles grasses à longue flamme un coke très boursouflé ; les premières sont les plus estimées pour la forge et les secondes pour la fabrication du gaz d'éclairage. Les houilles maigres et les houilles sèches à longue flamme donnent un coke métalloïde non boursouflé et à peine fritté. Les lignites laissent tantôt un charbon brillant, qui conserve la forme des fragments employés, tantôt un coke métalloïde fritté ou non collé ; ce coke est boursouflé dans quelques variétés qui ressemblent assez à la houille pour que les géologues les plus exercés puissent s'y tromper. Le bois fossile laisse, après la combustion, un charbon semblable à la braise ; il en est de même pour la tourbe, mais les fragments de charbon éprouvent alors un retrait considérable.

La nature de cet ouvrage ne comporte pas, sur les usages des combustibles, plus de détails que ceux que je viens de donner. Je me bornerai à mentionner encore la *terre de Cologne* dont on se sert quelquefois comme matière colorante et le *jayet* ; cette dernière substance possède une certaine dureté, et comme elle est susceptible de prendre le poli, on s'en est servi pour en faire des parures de deuil.

Groupe du graphite. — J'ai déjà indiqué quelle est l'origine

du graphite, du diamant et des hydrocarbures; j'ai dit quel rôle ces substances jouent dans la série des roches carbonées et à quel titre je plaçais leur étude à côté de celle des combustibles fossiles. Il me reste à compléter les détails dans lesquels je suis entré à ce sujet en plaçant ici quelques considérations sur les caractères de ces diverses substances.

Le *graphite* (γράφω, j'écris) est ainsi nommé à cause de la propriété qu'il a de laisser sur le papier des taches gris de plomb; la couleur de ces taches lui a valu les noms de *plombagine* et de *mine de plomb* qu'on lui a donnés, quoiqu'il ne renferme aucune trace de ce métal. On a longtemps considéré le graphite comme un carbure de fer; mais le graphite de Borrowdale contient à peine un demi pour cent de fer et on en a rencontré au Brésil qui laissait à peine des traces de cendres après sa combustion. Le graphite est, après le diamant, le corps qui contient le carbone à l'état le plus pur, mais on aurait tort de le considérer comme un diamant altéré. Le graphite renferme toujours des substances volatiles qui contribuent à lui imprimer ses caractères distinctifs.

Le graphite est une substance d'un éclat métallique, d'un gris noirâtre passant au gris d'acier, onctueuse au toucher, cristalline, quelquefois en petites paillettes à six côtés, ce qui permet de penser qu'il cristallise dans le système hexagonal Sa densité varie entre 2,089 et 2,245. Il est infusible et inattaquable par les acides; il brûle très difficilement par l'action de la flamme extérieure ou oxydante du chalumeau.

Le graphite appartient au terrain stratocristallin, où il se rencontre fréquemment, mais assez rarement en masses exploitables; il y forme quelquefois de petits amas et des nodules qui se suivent en chapelet; on le trouve en lamelles disséminées dans les schistes cristallins et le calcaire saccharoïde. Il

semble remplacer le mica ou le talc dans ces roches, qu'il recouvre quelquefois d'une matière noire tachant les doigts. D'autres fois, il se confond avec la substance de certains schistes auxquels il communique une couleur noire et la propriété de tracer.

L'*ampélite* ou *crayon des charpentiers* est un schiste argileux, noirci par le mélange d'une matière charbonneuse; son nom vient de ce qu'une variété aluminifère était employée par les anciens dans l'amendement des vignes (αμπελος, vigne). Le lias des Alpes renferme, sur certains points, et notamment au col du Chardonnet, près Briançon, une matière charbonneuse, accompagnée d'empreintes végétales; cette matière, considérée quelquefois comme graphite, est un anthracite graphiteux qui s'est métamorphisé au contact d'un porphyre amphibolique.

Groupe du diamant. — Le *diamant* (ἀδάμας, indomptable) est du carbone à l'état de pureté à peu près complète; les substances qui le colorent quelquefois s'y trouvent en quantités presque inappréciables. Le diamant présente divers caractères qui en font pour ainsi dire une substance à part : il est infusible, insoluble même dans l'eau régale, incombustible à l'air; c'est le plus dur de tous les corps : il les raie tous, sans être rayé par aucun; sa rareté est extrême; enfin, on ne peut se faire une idée exacte de son mode de formation et son gisement primitif est encore inconnu.

Le diamant cristallise dans le système cubique; il se montre en cristaux dont les facettes, contrairement à ce que l'on constate toujours, sont arrondies; pour rendre compte de cette disposition si exceptionnelle, les uns admettent que ces facettes sont composées d'un grand nombre de facettes plus petites; les

autres pensent que le diamant a subi un commencement de fusion. On sait que le diamant présente un éclat particulier dit *adamantin*. Sa densité est de 3,55.

Le diamant a son principal gisement dans les mêmes alluvions anciennes qui, dans l'Inde, le Brésil et l'île de Bornéo, renferment l'or et le platine; des sables diamantifères ont été également découverts dans le gouvernement de Perm, sur les pentes de l'Oural. Dans le Brésil, l'alluvion diamantifère est désignée sous le nom de *cascalho ;* elle est formée de galets quartzeux réunis par un ciment ferrugineux. Dans la province de Minas Geraës, au Brésil, le diamant existe dans une roche désignée sous les noms d'*yacotinga*, *itacolumite* et *itabérite*; cette roche est un schiste cristallin dans lequel le fer oligiste se mêle au mica et le remplace; elle est intercalée entre le gneiss et un grès incontestablement d'origine détritique. L'itacolumite renferme des diamants; mais cette roche, quelle que soit l'opinion que l'on adopte sur son origine, qu'elle provienne d'une sédimentation chimique ou mécanique, a été considérée à tort comme le gisement primitif du diamant. Selon nous, cette pierre précieuse date au moins de l'époque qui a vu la formation du magma granitique; sa dureté, son infusibilité et son insensibilité aux divers réactifs lui ont permis, une fois constituée, de résister aux actions chimiques et aux agents de transport, intérieurs ou superficiels, qui ont détruit les autres substances; son gisement primitif se trouverait dans cette partie de la zone granitique ou primitive où nous ne pouvons pénétrer par l'observation directe.

Groupe des hydrocarbures gazeux. — On connaît deux hydrocarbures gazeux bien définis: l'*hydrogène protocarboné* ou *gaz des marais* et l'*hydrogène bicarboné* ou *gaz oléifiant*. C'est le

premier que l'on rencontre surtout dans la nature. Ils se distinguent facilement entre eux par leurs propriétés physiques et chimiques. L'hydrogène protocarboné est un gaz incolore, sans odeur ni saveur, presque insoluble dans l'eau, brûlant avec une flamme jaunâtre; sa densité est égale à 0,559. L'hydrogène bicarboné est un gaz incolore, d'une odeur empyreumatique, très peu soluble dans l'eau, brûlant avec une flamme blanche fuligineuse; il a pour densité 0,986.

L'hydrogène protocarboné se dégage avec abondance, surtout pendant les chaleurs, de la vase des eaux stagnantes; il résulte alors de la décomposition des matières animales et végétales. Il se dégage également de certaines houilles. Le gaz d'éclairage en est formé en majeure partie. Il produit avec l'air atmosphérique un mélange explosif qui a reçu le nom de *grisou* ou *terrou* et qui occasionne chaque année la mort d'un grand nombre d'ouvriers. Enfin, il est un des résultats indirects de l'action volcanique; il se dégage alors de l'intérieur de l'écorce terrestre en donnant origine à divers phénomènes que j'ai déjà décrits (tome II, page 189).

Groupe du naphte, du pétrole, du malthe et de l'asphalte; bitumes. — Je vais passer rapidement en revue les hydrocarbures liquides et solides qui se présentent dans la nature.

Le *naphte* (du grec νάφθα, qui a la même signification) est une substance fluide comme l'alcool, incolore ou présentant une teinte jaunâtre peu prononcée, ne laissant à la distillation aucun résidu lorsqu'il est pur, d'une odeur faiblement bitumineuse, très inflammable, insoluble dans l'eau. Il dissout l'asphalte et passe ainsi de la liquidité la plus complète aux espèces visqueuses et solides. Il se trouve notamment dans les Pyrénées, à Salies; dans le duché de Parme, à Amiano; à

Baku, sur les bords de la mer Caspienne. Dans cette dernière localité, il imbibe un terrain argileux et il suffit d'y creuser des puits pour que l'huile s'y dépose.

Le *pétrole* (πέτρος, pierre; *oleum*, huile) est considéré comme du naphte contenant de l'asphalte en dissolution. C'est une substance d'un jaune brunâtre plus ou moins foncé, moins fluide que le naphte et passant à l'état sirupeux; possédant une odeur plus forte que celle du naphte. Il en existe à Brookdale, en Angleterre; à Gabian (Hérault); à Amiano et autres localités des Apennins; il surnage quelquefois sur la mer près des îles du Cap Vert; les environs de Rainanghong, dans le pays des Birmans, offrent plus de cinq cents sources de pétrole; mais c'est dans l'Amérique du Nord que se trouve le gisement le plus considérable de cette substance.

Le *malthe* (du grec μάλθα) est aussi désigné sous les noms de *pissalphalte*, de *goudron minéral*, de *pétrole visqueux*. C'est un pétrole qui passe à l'asphalte; mais il reçoit un caractère particulier de la présence de l'azote qui manque dans les autres roches bitumineuses; il fond dans l'eau bouillante.

L'*asphalte* (du grec ασφαλτος, bitume) est solide, d'un noir brunâtre, très fragile, à cassure vitreuse largement conchoïdale. Il fond à la température de l'eau bouillante, s'enflamme avec facilité, répand une fumée épaisse et laisse un résidu de cendres assez considérable. Il présente dans sa composition de l'oxygène et non de l'azote. M. Boussingault a donné le nom d'*asphaltène* à une variété qu'il a recueillie à Coxitambo (Amérique méridionale) et qu'il regarde comme étant de l'asphalte très pur.

Les gisements de malthe et d'asphalte sont communs à la surface du globe. Le malthe forme des gîtes assez importants à Orthez, près de Dax; à Seyssel, près de la perte du

Rhône; au Val de Travers (Suisse); à Lobsann (Bas-Rhin); à Pont du Château et au Puy de la Poix, près de Clermont Ferrand. L'asphalte proprement dit abonde particulièrement en Judée : il s'élève continuellement du fond de la Mer Morte ou lac Asphaltite à la surface des eaux; les vents le poussent ensuite sur le rivage où, par son exposition à l'air, il prend une certaine dureté. Le plus remarquable gisement d'asphalte est le lac qui occupe le point culminant de l'île de la Trinité (Antilles); ce lac est à peu près circulaire et a environ 5 kilomètres de tour; sa surface est recouverte d'une couche d'asphalte.

Le malthe et l'asphalte sont ordinairement en relation par leur origine avec les phénomènes volcaniques proprement dits; c'est pour cela qu'on les rencontre presque toujours dans les terrains secondaire et tertiaire.

Les diverses substances dont il vient d'être question (1) imprègnent fréquemment les roches de toute nature qui reçoivent, dans les descriptions géologiques, l'épithète de *bitumi-*

(1) Je reproduis dans ce tableau les résultats de quelques unes des analyses qui ont été faites de ces substances.

SUBSTANCES.	Hydrogène.	Carbone.	Azote.	Oxygène.	Cendres.
Hydrogène protocarboné. . . .	25,00	75,00	»	»	0,559
Hydrogène bicarboné.	14,29	85,71	»	»	0,978
Naphte très pur.	13,31	84,65	»	»	0,755
Pétrole.	11,98	88,02	»	»	0,886
Malthe (Pont du Château) . . .	9,58	77,52	2,57	»	
Asphaltène	9,90	75,50	»	14,40	1,070
Asphalte du Mexique.	9,30	78,10	9	80	1,065
Cannel Coal (Coventry)	21,56	64,72	13,72	»	1,250
Succin.	7,31	80,59	»	6,73	1,081

neuses. Tels sont les *schistes bitumineux* d'Autun, d'où l'on extrait par distillation l'huile de schiste employée dans l'éclairage et le *boghead*, schiste bitumineux appartenant au terrain houiller de l'Ecosse ; on emploie, dans les usines d'éclairage au gaz, le boghead pour augmenter la richesse et le pouvoir éclairant de l'hydrogène carboné.

Les *résines fossiles* proviennent, ainsi que je l'ai dit, des conifères qui ont jadis vécu à la surface du globe. La plus remarquable d'entre elles est le *succin* ou *ambre jaune*.

LIVRE DOUZIÈME.

RÉVOLUTIONS GÉOLOGIQUES

CHANGEMENTS DANS LES FLORES ET LES FAUNES.

CHAPITRE I.

MODIFICATIONS DANS LE RELIEF DU SOL ET LES CLIMATS.

Des révolutions géologiques en général. — Changements dans le relief du sol et dans l'aspect topographique de chaque contrée. — Changements dans la température de l'atmosphère et les climats. — Changements dans les milieux où la vie se développe. — Terre végétale. — Air atmosphérique ; constance de sa composition chimique. — Mers. — Eaux douces ; leur extension sans cesse croissante.

Des révolutions géologiques en général. — Les théories, qui ont été successivement exposées dans le courant de cet ouvrage, ont dû convaincre le lecteur que les phénomènes géologiques, tout en restant soumis aux mêmes lois fondamentales, n'ont pas toujours présenté la même allure et abouti aux mêmes conséquences. Quelques uns de ces phénomènes ne se sont manifestés qu'une seule fois et ne se produiront plus : tels sont ceux, par exemple, qui ont eu pour résultats la formation du

16

granite, le dépôt des couches calcaires, si nombreuses et si puissantes, du terrain jurassique, la production de la tourbe, etc. La période jovienne, elle aussi, a ses phénomènes spéciaux, tels que les glaciers, les volcans à cratère, etc. On peut même prédire quelques uns des phénomènes géologiques destinés à se manifester dans les temps à venir et, par exemple, prévoir le moment où, par suite du ralentissement de l'action geysérienne, il ne se produira au fond de la mer que des roches détritiques. La tendance des actions géologiques actuelles permet de penser que les phénomènes volcaniques se développeront dans des proportions sans cesse croissantes. Il viendra une époque où les deux calottes de glace qui entourent les pôles prendront des dimensions de plus en plus grandes et finiront par se souder à l'équateur; une autre époque où l'atmosphère et l'océan auront été absorbés par la masse de notre planète; une autre époque où le soleil s'éteindra à son tour et où la vie ne sera plus possible à la surface de notre planète.

Tous les changements accomplis à la surface du globe depuis que l'écorce terrestre est définitivement constituée peuvent recevoir la désignation de *révolutions géologiques*. Mais cette désignation est plus spécialement affectée aux changements qui se sont manifestés dans la configuration du sol, le climat, la faune et la flore de chaque contrée. Jusqu'à présent, lorsque j'ai parlé des révolutions du globe, mon but a été surtout de constater l'influence qu'elles ont exercée sur les phénomènes géologiques. J'ai pu ainsi étudier leurs causes et leur mode de développement; j'aurais donc peu de chose à ajouter à ce que j'ai déjà dit, si l'examen des changements dans la flore et la faune de notre planète ne devait pas me conduire à m'occuper de sujets que je n'ai pas encore abordés.

Lorsqu'on recherche quelle est la raison d'être des divers

changements qui se produisent à la surface du globe, on voit que chacun d'eux reconnaît une ou plusieurs causes spéciales, et qu'il subit aussi le contrecoup des autres changements qui se manifestent en même temps que lui. Dans les réactions mutuelles qu'ils exercent les uns sur les autres, on est conduit à reconnaître que ces changements sont soumis à une sorte de hiérarchie, de manière que quelques uns agissent sur les autres tout en étant à peine influencés par eux.

Les changements topographiques réagissent, directement ou indirectement, sur les climats, la faune et la flore de chaque contrée, tandis que les changements dans la flore, la faune et le climat de cette contrée exercent une influence à peine sensible sur sa constitution topographique. Si les modifications dans les climats réagissent à peine sur le relief du sol, elles exercent au contraire une grande influence sur la nature des animaux qui habitent une contrée et sur celle des végétaux qui y croissent. Mais on peut dire que les variations apportées dans la faune et la flore d'un pays se reflètent à peine dans son climat, surtout si l'on fait abstraction des effets tout à fait récents résultant des travaux et des déboisements opérés par la main de l'homme.

Je ne reproduirai pas ici les appréciations que j'ai formulées dans l'introduction de cet ouvrage, et notamment à la page 48, sur les caractères généraux des révolutions géologiques.

Changements dans le relief du sol et l'aspect topographique de chaque contrée. — J'ai déjà eu plusieurs fois (notamment tome I, pages 289 et suivantes) l'occasion de m'occuper de ces changements. Je crois inutile de revenir sur les causes qui les ont déterminés et d'insister de nouveau pour démontrer que la plus importante d'entre elles a été l'action provenant des forces dynamiques qui agissent sur l'écorce terrestre. Je dois pourtant

résumer ici les principales modifications qui ont été apportées dans le relief et l'aspect topographique du globe, parce que ces modifications ont réagi avec force sur le climat, la faune et la flore de chaque région.

a) Au commencement des temps géologiques, une mer sans rivage recouvrait le globe tout entier. Depuis lors la terre ferme n'a pas cessé de croître en étendue; l'océan perd en surface ce qu'il gagne en profondeur. D'un autre côté, ses eaux tendent à disparaître dans l'intérieur du globe. Un jour viendra où un seul continent enveloppera toute notre planète. *b)* Le phénomène d'extension de la terre ferme a été soumis à des oscillations qui résultent du mouvement même qui produit les abaissements et les soulèvements alternatifs des masses continentales. *c*) Il y a eu des changements non seulement dans l'étendue, mais aussi dans la forme des mers et des continents; c'est dans la dernière partie de cet ouvrage que ces changements seront mentionnés, parce que leur étude se lie intimement à celle de la distribution géographique des terrains sédimentaires. *d*) La surface du globe a présenté un modelé de plus en plus accidenté; les montagnes ont offert une altitude sans cesse croissante et les strates dont se compose l'écorce terrestre se sont montrées de plus en plus disloquées. *e*) La nature des terrains contribue beaucoup à imprimer à chaque contrée l'aspect qui la caractérise; d'un autre côté, la constitution, propre à chaque terrain varie pour chaque époque. De cette double circonstance résulte un motif de plus pour nous convaincre que l'aspect des diverses régions a dû se modifier considérablement d'une période à l'autre. Le sol des premiers continents devait ressembler à celui de la Bretagne, puisqu'il était comme lui formé presque exclusivement de roches granitiques et schisteuses. L'aspect tout particulier des

contrées jurassiques n'a pu se manifester que lorsque le terrain secondaire s'était déposé et avait commencé à faire partie des masses continentales. Ce n'est également qu'à une époque très moderne que les volcans et les massifs volcaniques ont surgi, et ont accru la diversité que la surface du globe présente actuellement.

Changements dans la température de l'atmosphère. — La température de l'atmosphère a sans cesse varié, pour toute la surface du globe et pour chaque contrée, d'une époque à l'autre. Ces changements sont démontrés par l'observation des débris de corps organisés renfermés dans les strates sédimentaires. On est, par exemple, autorisé à déclarer que, lors de la période éocène, la température était plus élevée aux environs de Paris qu'elle ne l'est de nos jours, parce que les palmiers et d'autres végétaux propres aux climats chauds y croissaient en abondance. Des variations dans la température peuvent quelquefois être mises en évidence par des changements dans la nature des roches ; l'abondance des terrains de transport dans certaines contrées ou à certaines époques indique en effet un climat pluvieux et relativement froid. (Voir tome I, pages 373 et 570.)

Je me suis déjà occupé des changements dans la température de l'atmosphère : je dois me borner maintenant à résumer et à compléter ce que j'ai dit à ce sujet. (Voir tome I, pages 292 et suivantes).

Depuis les premiers temps géologiques jusqu'à nos jours, la température a été en s'abaissant à la surface du globe, mais cette marche décroissante a été soumise à des oscillations ; des périodes relativement froides ont succédé à des périodes relativement chaudes.

La température, qui était très élevée pendant la période tri-

lobitique, paraît s'être fortement abaissé pendant les périodes suivantes, si l'on en juge par les changements apportés à la faune et à la flore, ainsi que par les immenses dépôts de roches détritiques qui entrent dans la composition des terrains houiller et permien. La période psammitique pendant laquelle ces terrains se sont déposés a été, en quelque sorte, une période diluvienne, quoique l'abaissement de la température n'ait pas été suffisant pour déterminer l'apparition des phénomènes glaciaires. Pendant la période triasique, la température s'est élevée de nouveau pour atteindre un second maximum lors de la période jurassique. Pendant la période crétacée, la température a éprouvé un nouvel abaissement; c'est une conclusion que l'on peut tirer soit de la présence des roches détritiques plus abondantes dans le terrain crétacé que dans le terrain jurassique, soit de la nature des animaux et des plantes habitant les contrées prises pour termes de comparaison; c'est ainsi que les récifs de coraux, si répandus sous nos latitudes pendant la période jurassique, ont disparu presque complétement pendant la période crétacée. L'abaissement de température, qui avait commencé à se manifester lors la période crétacée, a persisté jusqu'à nos jours en subissant probablement des oscillations assez faibles pour que, dans l'état de nos connaissances, il ne soit pas toujours facile de les constater. Cet abaissement continu de la température est démontré par l'abondance toujours croissante des roches détritiques et par les transformations successives de la faune et de la flore. L'étude de ces transformations nous montre d'abord, pendant la période crétacée, les polypiers coralligènes désertant les mers voisines de la France. Pendant la période éocène, les palmiers croissaient aux environs de Paris et dans toute l'Europe centrale; mais à dater de la période pliocène, il n'y en avait plus que dans la partie

méridionale de ce continent. Toutefois, les formes végétales qui existaient pendant cette période, et dont nous retrouvons les débris, démontrent que l'Europe avait alors un climat plus chaud que de nos jours. M. Deshayes, en étudiant la faune des mollusques, est arrivé aux mêmes conclusions. Les fossiles que présente le terrain miocène sont des espèces propres aux mers les plus chaudes, à celles du Sénégal et de la Guinée; quelques unes des espèces que l'on trouve à l'état fossile dans le terrain pliocène du pourtour de la Méditerranée ne se rencontrent plus dans cette mer à l'état vivant; il faut, pour les retrouver, s'avancer presque dans les mers tropicales de l'Afrique et de l'Inde. D'autre part, plusieurs des espèces vivantes de la Méditerranée ne sont pas représentées à l'état fossile dans les régions qui l'environnent; il paraît donc que, depuis l'époque pliocène, il y a eu un abaissement dans la température de cette mer. Les terrains de l'ère jovienne, qui ont été accidentellement soulevés sur le pourtour de la Méditerranée et de l'Océan, présentent à l'état fossile toutes les espèces qui vivent encore aujourd'hui dans les mers correspondantes.

J'ai déjà dit que l'abaissement de la température avait eu pour conséquence l'apparition des glaciers; j'ai fait remarquer aussi que les phénomènes glaciaires se sont développés à deux reprises différentes, ce qui est pour moi la preuve la plus directe des oscillations qui ont eu lieu dans le phénomène de l'abaissement de la température de l'atmosphère.

Pendant que la température s'abaissait, les lignes isothermes se dessinaient d'une manière de plus en plus nette; je suis entré à ce sujet dans assez de détails pour ne pas avoir besoin d'y revenir. (Voir tome I, page 292.)

J'ai déjà examiné (voir notamment tome I, pages 78, 127, 295 et suivantes) les diverses opinions qui ont été émises pour

expliquer les variations de la température à la surface du globe. De cet examen nous croyons pouvoir déduire que ces causes sont au nombre de trois.

I. La masse terrestre, le milieu où elle se meut, le soleil et tous les corps qui font partie du système planétaire, sont soumis à un refroidissement lent, continu, dont les effets ne sont sensibles qu'à de longs intervalles; ce refroidissement est la cause première et la raison d'être de presque tous les phénomènes géologiques. II. L'exhaussement et l'extension des masses continentales ont exercé une assez grande influence sur le refroidissement des couches atmosphériques en contact avec le sol. Ce refroidissement n'a pas été continu : il a été soumis à des oscillations comme la cause dont il provenait. A conditions égales, les périodes continentales ont eu un climat plus froid que les périodes marines. Le mode de répartition des terres et des mers, suivant que les unes ou les autres étaient concentrées sous l'équateur ou vers les pôles, a dû agir également soit sur la température générale de toute la surface du globe, soit sur la température particulière de chaque localité. III. Enfin la terre, de même que le système planétaire tout entier, parcourt, à travers l'espace, des régions dont la température n'est pas la même; nous avons vu que ces variations de température sont resserrées dans des limites très étroites, mais suffisantes pour expliquer plusieurs des phénomènes climatologiques dont nous trouvons la trace dans le passé de notre planète. Ces variations concourent, avec les modifications dans le relief du sol, à expliquer les oscillations auxquelles a été soumis l'abaissement dans la température atmosphérique.

La terre, par suite de la précession des équinoxes, ne se trouve pas constamment à la même distance du soleil et, par consé-

quent, n'en reçoit pas la même quantité de chaleur. Mais ces variations dans la quantité de chaleur solaire reçue par notre planète ne peuvent modifier d'une manière bien sensible la température de l'atmosphère. Ce qui m'engage, en outre, à ne pas en tenir compte, c'est que les observations au moyen desquelles le phénomène de la précession des équinoxes a été étudié ne sont pas assez anciennes pour que la marche de ce phénomène soit connue d'une manière rigoureuse. On ne sait pas au terme de combien d'années, la terre se retrouve, sur l'orbite qu'elle parcourt, au même point pour un même moment de l'année. Le nombre de 26000 ans indiqué dans les ouvrages d'astronomie n'est que provisoire. S'il était exact, il constituerait une période trop courte pour qu'il fût possible de reconnaître à travers les temps anciens la part qui, dans les variations de la température atmosphérique, revient au phénomène de la précession des équinoxes.

On doit tenir peu de compte des changements dans l'inclinaison de l'axe terrestre de rotation. Ces changements se produisent dans des limites très resserrées et ils n'apportent d'ailleurs aucune variation à la quantité de chaleur émise par le soleil et reçue par notre planète. Ils ont surtout pour effet de modifier la répartition de cette chaleur à la surface du globe et la direction des lignes isothermes qui, sous leur influence, éprouvent de faibles déplacements.

Changements dans les climats. — Le climat d'un pays et celui d'une époque quelconque dépendent d'un grand nombre de circonstances telles que la latitude, l'altitude, le relief du sol, la végétation, la température, la pression barométrique, la distribution de l'électricité, la direction des vents, le mode de répartition des terres et des mers, etc. L'examen de toutes ces

circonstances m'entraînerait trop loin ; je devrai me borner à formuler les considérations suivantes.

La plus importante des circonstances qui influent sur le climat est certainement la température dont les principales variations viennent d'être indiquées.

Nous avons vu que la terre absorbe peu à peu son atmosphère, mais ce phénomène se développe avec une lenteur telle qu'on peut admettre qu'il n'a pas produit d'effets sensibles pendant la durée des temps géologiques. Depuis la période cumbrienne jusqu'à nos jours, l'atmosphère a donc conservé à peu près la même hauteur et la pression barométrique moyenne n'a pas varié.

La relation que nous avons dit exister, pendant chaque époque, entre la température de l'atmosphère et l'abondance plus ou moins grande des roches détritiques, montre encore que les périodes qui ont été les plus froides ont aussi été les plus pluvieuses ; celles pendant lesquelles la température a été très élevée ont eu un climat sec. Le climat des périodes houillère, permienne et triasique était très pluvieux, tandis que celui de la période jurassique et, à un moindre degré, celui de la période crétacée, paraissent avoir été d'une assez grande sécheresse. Si on n'adoptait pas cette opinion, il faudrait admettre que, pendant les périodes jurassique et crétacée, les pluies étaient assez uniformément réparties dans toutes les saisons et peut-être même dans chaque journée, de façon à ne pas déterminer de puissants courants à la surface du sol émergé.

L'ère jovienne a été, comme l'époque houillère, une période de froid ; mais l'abaissement de la température et l'exhaussement des masses continentales ont eu pour résultat, dans un grand nombre de régions, de transformer la pluie en neige. Alors s'est manifesté un double phénomène qui, en partant

des régions polaires où il existait depuis quelque temps, s'est étendu sur une partie de la surface du globe ; les neiges perpétuelles ont pris possession d'un grand nombre de contrées et avec elles sont venus les glaciers.

Changements dans les milieux où la vie se développe ; terre végétale. — Ces milieux sont le *sol* ou la *terre végétale*, l'*atmosphère*, l'*eau douce* et l'*eau salée*. Nous allons rechercher dans quelle mesure l'étendue et la composition de ces trois milieux ont dû varier pendant les temps anciens.

La terre végétale a toujours été, comme aujourd'hui, un mélange de débris enlevés aux roches préexistantes et d'éléments provenant de la décomposition des plantes et des animaux. Si la terre végétale des temps géologiques n'est pas parvenue jusqu'à nous (tome I, page 337.), cela provient, ainsi que je l'ai déjà dit, de la facilité avec laquelle les agents d'érosion et de transport la détruisent. Les détails dans lesquels je suis entré relativement à la facile décomposition des matières végétales au contact de l'air atmosphérique nous permettent d'ajouter que l'humus, dont la présence est le caractère essentiel de la terre végétale, finit par disparaître ; celle-ci, réduite à sa partie inorganique, passe à l'état de limon ou de sable. Cette circonstance achève de justifier l'idée que j'ai exprimée relativement à la date très moderne de la terre végétale. — Il n'y a pas de raison pour supposer que, lors des époques antérieures à la nôtre, la terre végétale ait eu plus d'épaisseur et plus de fertilité que de nos jours ; encore moins peut-on admettre qu'elle ait eu une composition différente. Mais la surface occupée par elle a crû en même temps que celle des terres émergées et cette circonstance a dû exercer une influence sur le caractère de la flore chaque époque.

Atmosphère; constance de sa composition. — Je vais indiquer les motifs qui permettent de penser que la composition chimique de l'atmosphère a été constamment la même depuis que la vie s'est manifestée à la surface de notre planète.

On sait que l'atmosphère se compose d'air vital auquel se mêlent, dans de faibles proportions, de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique et quelques substances dont l'analyse ne peut pas toujours dénoter la présence. L'air vital est un mélange, en poids, de 23 parties d'oxygène et de 77 parties d'azote. L'oxygène et l'azote sont les seules substances laissées en excès après les nombreuses combinaisons qui, lors des temps cosmiques, ont eu lieu dans l'intérieur de la terre ou à sa surface. La vapeur d'eau mêlée à l'air atmosphérique résulte de l'évaporation produite à la surface du globe. L'acide carbonique provient de la respiration des animaux et de la décomposition des êtres organisés; chaque jour, il s'en dégage de l'intérieur de l'écorce terrestre. L'atmosphère renferme encore de l'hydrogène sulfuré et de l'hydrogène carboné fournis, comme l'acide carbonique, soit par la décomposition des êtres organisés, soit par les émanations intérieures. Il contient encore de l'acide nitrique qui se forme pendant les orages et des substances dont la vraie nature est encore inconnue, dont l'existence est rendue incontestable par leurs effets et que l'on désigne vaguement sous le nom de miasmes. Telle est la composition de l'atmosphère à l'époque actuelle. Les recherches de MM. Dumas et Boussingault ont démontré que cette composition n'a pas changé depuis les essais eudiométriques faits, il y a quarante ans, par Gay Lussac et Humboldt. Celles de M. Boussingault, en Amérique, et de M. Brunmer, en Suisse, corroborées par M. Dumas, ont établi que la composition de l'air atmosphérique est la même à toutes les hauteurs où l'homme peut atteindre.

Recherchons maintenant si la composition de l'atmosphère qui est la même partout, au sommet des hautes montagnes comme dans les villes les plus peuplées, n'a pas varié pendant les temps géologiques. Les naturalistes n'hésitent pas à déclarer que les lois en vertu desquelles la vie se manifeste ont toujours été les mêmes ; or, il y a entre l'organisation des animaux et la nature des gaz qu'ils respirent, une relation telle qu'on ne saurait supposer que l'une ait varié sans l'autre. Depuis la période cumbrienne, les animaux n'ont pas cessé d'habiter la surface du globe ; de cette persistance dans l'organisme on doit conclure la stabilité de la composition de l'air atmosphérique pendant les temps anciens.

Il ne faut pourtant pas s'en tenir, en ce qui concerne la composition de l'air atmosphérique, à la démonstration générale que je viens de donner; je dois entrer à ce sujet dans quelques détails, car on pourrait m'objecter avec raison que tous les animaux n'exigent pas le même degré de pureté dans la composition de l'air atmosphérique et que telle proportion d'acide carbonique qui sera préjudiciable à une espèce ne produira aucun effet sur une autre.

Il est une théorie qui a cours dans la science et que nous ne pouvons adopter. On considère l'époque houillère comme ayant été une sorte de période d'épuration pendant laquelle, grâce à la formation de la houille, l'atmosphère aurait été débarrassée d'un excès d'acide carbonique qui s'opposait à l'existence des animaux d'un ordre élevé. Si telle était la véritable cause qui rendait impossible le développement de ces animaux, comment se fait-il que cette cause n'eût pas agi pendant les périodes antérieures ? D'où vient, lorsque l'on compare la faune qui a précédé la période houillère à celle qui l'a suivie, d'où vient dis-je, que l'on ne constate pas

entre elles une différence assez considérable pour donner une valeur à cette hypothèse d'un changement important introduit dans les conditions vitales des animaux? D'ailleurs, un calcul très simple démontre que, lors même que tout le carbone de la houille serait ramené à l'état d'acide carbonique, le changement apporté dans la composition de l'atmosphère ne serait pas sensible pour nous.

La densité moyenne de la houille est de 1,3 ; sa richesse moyenne en carbone est de 80 °/₀ environ ; par conséquent, la quantité de carbone contenue dans un décimètre cube de houille est de 1300 gr. × 0,80 = 1040 gr. Un décimètre cube d'acide carbonique pèse 1 gr., 977 et renferme 0,272 de carbone; par suite un litre de ce gaz contient 1 gr,977 × 0,272 = 0 gr., 538 de carbone. Donc, le nombre de décimètres cubes d'acide carbonique produit par la combustion d'un décimètre cube de houille sera de $\frac{1040}{0,538}$ = 1933 décimètres cubes d'acide carbonique.

Nous avons admis que tout le combustible existant dans le terrain houiller, s'il était uniformément réparti à la surface du globe, formerait une nappe continue ayant au maximum 0m,05 d'épaisseur. Supposons cette surface partagée en carrés de 0m,05 de côté; chacun de ces carrés correspondra à un demi décimètre cube, lequel, en se transformant en acide carbonique, fournira $\frac{1933}{2}$ = 966 ou, en nombres ronds, 1000 décimètres cubes d'acide carbonique. En accordant à la zone où cet acide carbonique pourrait se répandre une hauteur de 25 lieues ou 1000000 décimètres, il s'ensuit que la proportion d'acide carbonique répandue dans l'atmosphère après la combustion de toute la houille existant actuellement serait de $\frac{1000}{1000000} = \frac{10}{10000}$.

D'après les recherches de M. Boussingault, à Paris, et de

M. Th. de Saussure, à Genève, l'air atmosphérique renferme $\frac{4}{10000}$ d'acide carbonique; mais cette proportion pourrait être augmentée sans qu'il en résultât des inconvénients pour la respiration de l'homme et des animaux, ainsi que le démontrent les observations faites, en 1845, par M. Leblanc. Dans les mines, l'air est altéré par suite des émanations du sol, de la respiration des ouvriers et de la combustion des lampes : or, dans celles de Poullaouen, en Bretagne, M. Leblanc a constaté que l'air renfermait plus de $\frac{300}{10000}$ d'acide carbonique ; la respiration était gênée, mais le travail restait possible, tant que la température n'était pas élevée.

Pour établir les bases de notre calcul, nous avons choisi les appréciations les plus défavorables à notre thèse. Des évaluations plus exactes nous auraient sans doute conduit à un nombre plus faible que $\frac{10}{10000}$. Remarquons, en outre, que l'acide carbonique renfermé dans la houille ne se trouvait pas tout entier et au même moment dans l'atmosphère ; il provenait, alors comme aujourd'hui, de l'intérieur de l'écorce terrestre ou de la décomposition des êtres organisés, et, à mesure qu'il se répandait dans l'atmosphère, il était absorbé par les végétaux.

Toutes les considérations dans lesquelles nous venons d'entrer ont dû convaincre le lecteur que l'atmosphère, pendant la période houillère et même dès le commencement des temps géologiques, avait la même composition que de nos jours. Il pensera, comme nous, qu'il est puéril d'attribuer à la présence dans l'atmosphère d'une proportion d'acide carbonique plus forte que pendant l'époque actuelle, et la formation de la houille, et l'absence des animaux à respiration aérienne pendant la période trilobitique (1).

(1) Le rôle qu'on a gratuitement accordé au phénomène de la formation de la houille est un exemple de l'abus de la théorie des causes finales ?

Changements dans la nature des eaux.— Pendant la période neptunienne, les eaux répandues à la surface du globe offraient une composition uniforme et un degré de salure un peu moins élevé que de nos jours. Plus tard, la salure des eaux de l'océan a été en augmentant par suite des circonstances que j'ai mentionnées (tome I, page 532). Cet accroissement dans la proportion des substances dissoutes dans les eaux océaniennes persistera jusqu'à la fin des temps géologiques, et comme ce phénomène marche parallèlement avec celui de l'absorption de l'eau par la masse terrestre, il en résulte qu'un jour viendra où un vaste dépôt de sel gemme se formera dans chacune des dernières dépressions occupées par les mers.

Dès le moment où une première île a surgi à la surface de l'océan, les eaux pluviales ont commencé à s'accumuler sous forme de mares et à se diriger vers la mer sous forme de petits ruisseaux. En même temps, les premiers animaux vivant dans les eaux douces ont pu apparaître à la surface du globe ; mais aucun de leurs débris n'a encore été signalé dans les terrains cumbrien et silurien. Les premiers fossiles d'eau douce sont des anodontes qu'on a découvertes dans le terrain dévonien inférieur de l'Irlande. A mesure que les îles se sont transformées en continents et que les continents ont accru d'étendue, les eaux douces ont occupé un espace de plus en plus grand. Des lacs existaient dès la période houillère. Ils étaient plus nombreux vers la fin des périodes jurassique et crétacée. Enfin, leur importance a été telle pendant la période tertiaire que les dépôts qu'ils ont reçus et que nous pouvons observer sont aussi puissants et aussi étendus que les dépôts marins actuellement émergés et datant de la même période.

CHAPITRE II.

CAUSES DE L'APPARITION ET DE LA DISPARITION DES ESPÈCES.

Considérations préliminaires. — Faunes et flores successives; première idée des races perdues; Cuvier. — Recherche des causes qui ont déterminé l'apparition de chaque espèce. — Hypothèse d'une intervention des masses sidérales. — Hypothèse d'un centre de création unique et préexistant. — Hypothèse de la transmutation des espèces; solidarité existant entre cette hypothèse et la doctrine des générations spontanées. — Théories de Lamarck, des deux Geoffroy Saint Hilaire et de Darwin. — Causes qui ont amené la disparition des espèces; causes accidentelles, causes essentielles. — Impossibilité de trouver la raison d'être des rénovations organiques. — L'espèce au point de vue géologique.

Chaque science présente des faits dont on ne peut guère s'expliquer la nature ou la raison d'être. Mon attention va se porter successivement sur divers problèmes qui, dans l'état actuel de nos connaissances, ne me paraissent pas susceptibles de recevoir une interprétation ou une réponse satisfaisantes. Qu'est-ce que l'espèce? Dans quelle limite une forme organique quelconque peut-elle se modifier après un nombre plus ou moins grand de siècles ou d'années? Quelles sont les causes qui ont amené l'apparition et la disparition des êtres organisés à la surface du globe? Quelle est l'essence des lois qui ont présidé à l'ordre de succession des faunes et des flores? A mesure que ces questions se présenteront à mon examen, je me bornerai à émettre en peu de mots ma manière de voir. Je serai aussi sobre que possible dans les déductions que je tirerai

de l'opinion que j'aurai choisie. Je n'aurai pas toujours la prétention d'imposer mon avis à tous mes lecteurs; si j'emploie quelquefois le ton dogmatique, ce sera afin de ne pas entrer dans des détails que la nature et l'étendue de cet ouvrage ne comportent pas. J'espère d'ailleurs qu'on ne verra pas, dans le soin que je mettrai à ne pas trop prendre part aux controverses qui se sont élevées dans ces derniers temps, ni le témoignage d'une antipathie pour toute discussion scientifique, ni surtout un manque d'estime pour les savants dont je ne partage pas les idées, tout en appréciant beaucoup leurs travaux.

Faunes et flores successives : première idée des races perdues. — La puissance vitale réside dans les individus existant de nos jours; c'est un dépôt qu'ils ont reçu de leurs ascendants et qu'ils doivent transmettre à d'autres individus destinés à leur succéder. Si, par la pensée, on remonte vers les temps anciens, on peut supposer un parent au début de chaque série constituée par les êtres issus les uns des autres, quelle que soit l'étendue que l'on accorde à cette série. En se maintenant dans cet ordre d'idées, on n'éprouve aucun embarras à adopter l'hypothèse de l'éternité des formes organiques; le problème de la recherche des causes qui ont amené l'apparition de chaque espèce n'offre plus qu'une importance secondaire. Mais la géologie nous démontre que la faune qui anime la surface du globe ne l'a pas toujours habitée; elle nous prouve que les espèces actuelles existent depuis peu et qu'en prenant possession de notre planète, elles ont remplacé d'autres espèces qui avaient elles mêmes succédé à des espèces également disparues.

Si l'on étudie la faune d'une époque quelconque B, on voit qu'elle se compose de trois éléments : un premier groupe

comprend les espèces qui n'ont vécu que pendant cette époque B; dans un second, se trouvent les espèces qui ont vécu pendant l'époque précédente A et qui sont destinées à disparaître pendant l'époque B; enfin, le troisième renferme les espèces qui se montrent pendant l'époque B et qui doivent passer dans l'époque suivante C.

Les auteurs qui, lors du siècle dernier, se sont occupés de fossiles, W. Smith lui même, ne se doutaient pas que les débris de corps organisés étudiés par eux provenaient d'espèces n'existant plus. Ils croyaient sans doute que ces espèces vivaient encore dans des régions inexplorées ou dans les profondeurs inaccessibles de l'océan. C'était l'étude des dépouilles des animaux ayant vécu sur lès continents et surtout des quadrupèdes qui devait conduire à l'idée des races perdues; la liste des animaux qui vivent actuellement sur la terre émergée est, en effet, bien plus facile à dresser que celle des animaux qui ont le fond de l'océan pour séjour. Buffon avait d'abord vaguement émis la pensée que les grands ossements fossiles du Canada et de la Sibérie avaient appartenu à des animaux dont les espèces n'existent plus, mais, plus tard, il réduisait le nombre des espèces perdues à une seule, le mastodonte. Camper, dans un mémoire adressé, en 1787, à Pallas, formulait plus nettement l'opinion que certaines espèces ont été détruites par les révolutions du globe et il citait, à l'appui de cette opinion, certains faits incontestables. Toutefois, si l'on tient compte de l'importance et de la nature des travaux de Cuvier, c'est à l'auteur des *Recherches sur les ossements fossiles* qu'il faut attribuer la gloire d'avoir le premier formellement exprimé l'idée des races perdues, de l'avoir démontrée et introduite dans la science. Le travail où cette idée a été mise en évidence est son mémoire sur *Les espèces d'éléphants fossiles*,

comparées aux espèces vivantes; ce mémoire a été lu à l'Institut le 1er pluviôse, an IV, dans sa première séance publique. « Dans ce premier mémoire, » dit M. Flourens, « Cuvier ne se borne pas à démontrer que l'éléphant fossile est une espèce distincte des espèces actuelles, une espèce éteinte, une espèce perdue; il déclare nettement que le plus grand pas qui puisse être fait vers la perfection de la théorie de la terre, serait de prouver qu'aucun de ces animaux dont on trouve les dépouilles répandues sur presque tous les points du globe, n'existe plus aujourd'hui. Il ajoute que ce qu'il vient d'établir pour l'éléphant, il l'établira bientôt d'une manière non moins incontestable pour les rhinocéros, pour le cerf, fossiles, toutes espèces également distinctes des espèces vivantes, toutes espèces également perdues. Enfin, il termine par cette phrase remarquable, et dans laquelle il semblait annoncer tout ce qu'il a découvert depuis : « Qu'on se demande pourquoi l'on trouve tant de » dépouilles d'animaux inconnus, tandis qu'on n'en trouve » aucune dont on puisse dire qu'elle appartienne aux espèces » que nous connaissons, et l'on verra combien il est probable » qu'elles ont toutes appartenu à des êtres d'un monde anté- » rieur au nôtre, à des êtres détruits par quelques révolu- » tions du globe, à des êtres dont ceux qui existent aujour- » d'hui ont rempli la place. »

Recherche des causes qui ont déterminé l'apparition de chaque espèce. — D'après ce qui précède, il y a eu, pour chaque espèce dont on trouve les débris dans les terrains stratifiés, un moment où elle s'est montrée pour la première fois à la surface du globe et un autre moment où elle a disparu pour toujours. La recherche des causes qui ont déterminé l'apparition de chaque espèce constitue le problème le plus ardu de la géolo-

gie. Ce problème est, selon nous, insoluble. Mais y a-t-il impiété ou folie à l'aborder? Evidemment non. La création de chaque flore et de chaque faune a dû s'opérer, comme tous les phénomènes naturels, par le concours de forces et d'agents exécuteurs de la volonté divine. Voyons comment certains esprits, pleins d'initiative ou doués d'une vive imagination, ont essayé de résoudre le problème des rénovations organiques. Nous allons mentionner les principales hypothèses qui ont été émises à ce sujet; nous ne doutons pas que le lecteur ne reconnaisse avec nous qu'aucune d'elles n'est admissible.

A) Les êtres organisés apparus à chaque époque préexistaient, mais habitaient les corps célestes d'où ils passaient sur notre planète lorsqu'il y avait contact entre elle et une de ces masses sidérales. Cette hypothèse n'est nullement en relation avec l'ordre régulier qui a présidé au renouvellement des faunes et des flores. La cause invoquée est toute fortuite, accidentelle, tandis que les effets, c'est à dire les rénovations organiques, se sont coordonnés de manière à accuser l'existence d'un plan régulier et, pour ainsi dire, conçu d'avance. Je ne m'arrêterai pas à faire remarquer combien, même lorsque deux planètes viendraient à être mises en contact pendant un temps plus ou moins prolongé, le passage de certaines formes animales d'un corps planétaire à l'autre offrirait de difficultés. Il me suffira de rappeler que cette hypothèse est rendue complétement inadmissible par ce que nous savons des lois qui président aux mouvements des masses sidérales. (Voir livre I, chapitre III.) Mais pour montrer à quelles divagations peut conduire la recherche des causes des rénovations organiques, je vais transcrire les lignes suivantes écrites par Laurillard, qui était pourtant un paléontologiste distingué et un esprit sérieux.

« Si les personnes qui préfèrent au doute les idées positives, quelque hasardées qu'elles soient, nous demandaient quels peuvent être les agents chargés de porter la vie sur notre planète, nous répondrions que plusieurs savants ont pensé que les populations animales ont pu être détruites par le choc d'une comète. On pourrait peut-être aller plus loin, et supposer qu'en même temps qu'elles mettaient fin au règne organique existant, elles venaient en apporter un autre. Ces corps seraient ainsi considérés comme les agents chargés de porter, dans les diverses planètes, les êtres organisés, au temps où celles-ci se trouvent dans les conditions physiques convenables, pour que les habitants qu'elles y apportent puissent y remplir le rôle auquel ils sont appelés par leur organisation ; comme des astres femelles, enceints de toute une population ; comme des œufs avec lesquels, en effet, les comètes ont quelque analogie, par les diverses couches ou enveloppes de substances plus ou moins transparentes, dont elles paraissent formées, et même par leur queue ou chevelure, qui serait le placenta au moyen duquel elles puiseraient dans l'éther les matériaux nécessaires au développement des êtres en voie de formation, développement qui demanderait un temps proportionné à la rareté de cet éther, et qu'on ne peut estimer à moins de plusieurs dixaines de milliers d'années. »

B) Les êtres organisés, d'après une autre hypothèse, préexisteraient sur la terre depuis la première création, et ils seraient tenus en réserve sur un point indéterminé du globe d'où ils se répandraient à sa surface à mesure que des circonstances favorables à leur dissémination se présenteraient. Cette hypothèse a le défaut capital de ne pas nous dire comment se serait opérée la première création ; elle tourne la difficulté, la déplace, mais ne la résout pas. Evidemment, la cause qui a

déterminé l'apparition du premier être organisé à la surface du globe a également présidé à l'apparition de tous les êtres organisés qui plus tard se sont montrés les uns après les autres ; si cette cause était connue dans un cas, elle le serait aussi dans tous. D'ailleurs, l'hypothèse qui attire maintenant notre attention donne lieu à la même objection que nous venons de faire à l'hypothèse précédente ; si elle était fondée, le mode de distribution des fossiles dans les strates ne devrait pas offrir le caractère de variété et de régularité que l'on constate ; les mêmes débris de corps organisés se trouveraient indistinctement dans tous les terrains, dans les plus anciens comme dans les plus modernes, ce qui n'a certainement pas lieu. D'un autre côté, tout n'indique-t-il pas que les rénovations organiques qui se sont effectuées pendant les temps anciens se produiront dans l'avenir? Or, où se trouverait la contrée privilégiée qui tiendrait en réserve les êtres destinés à intervenir dans ces rénovations? Quelle richesse n'aurait pas dû offrir la faune et la flore de cet unique centre de création si, dans le même moment, pareil à une arche de Noë, il avait été occupé par tous les animaux et toutes les plantes que nous savons pourtant ne s'être montrés sur la surface du globe que les uns après les autres, comme s'il n'y avait pas eu place pour tous à la fois? Quelle est la cause qui aurait permis aux espèces ainsi réunies, entassées et parquées dans cette contrée où toutes les futures générations étaient tenues en réserve, de persister depuis les premiers temps géologiques jusqu'à nos jours, tandis que tout nous démontre que chaque espèce a eu sur toute la surface du globe une existence fatalement resserrée dans d'étroites limites?

C) D'après une troisième hypothèse, la seule qui présente un côté scientifique, les diverses espèces de plantes et d'animaux

ne seraient nullement sujettes à s'éteindre; elles se modifieraient insensiblement sous l'influence de causes diversement appréciées par les partisans de la transformation des formes organiques.

Les recherches relatives à la création des êtres organisés ont établi, dans ces derniers temps, une certaine relation et une certaine solidarité entre deux théories qui, formulées isolément, n'auraient aucune portée scientifique. Ces deux théories sont celles de la « génération spontanée » et de « la transmutation des espèces. »

On ne saurait de prime abord admettre qu'il y a une génération spontanée pour les animaux autres que ceux dont l'organisation est d'une simplicité extrême; en supposant même que les infusoires se soient formés par hétérogénie, il ne saurait en être de même pour des animaux d'un volume plus considérable, pour les éléphants, par exemple. D'ailleurs, un des caractères essentiels de la force qui préside aux rénovations organiques est la périodicité. En admettant que tous les animaux, sans exception, soient le produit de générations spontanées, il resterait à expliquer pourquoi les circonstances en vertu desquelles ces générations s'opèrent ne se montrent qu'à divers intervalles. Si la génération spontanée était un phénomène permanent, nous devrions voir journellement de nouvelles formes organiques naître autour de nous, ce qui ne se produit certainement pas.

D'un autre côté, lors même qu'on admettrait que la faune actuelle et celles qui l'ont précédée proviennent les unes des autres par des transformations successives, le difficile problème de l'arrivée des êtres organisés à la surface du globe n'aurait pas sa solution. La terre n'a pas toujours existé : il y a eu un moment où, par une cause ou une autre, la vie s'est

répandue à la surface du globe comme une force invisible qui pénètre partout. Puisqu'il y a eu une création, pourquoi ne pas en admettre deux, trois,... dix, en un mot autant que la paléontologie nous montre qu'il y a eu de faunes distinctes. Dès lors, la doctrine de la transformation indéfinie des espèces n'est d'aucune utilité pour la solution du problème qui nous occupe.

Mais, d'après les partisans de la transmutation des espèces, les êtres organisés de l'époque actuelle, de même que tous ceux des époques anciennes, proviendraient, quelle que compliquée que soit leur organisation, d'êtres ayant vécu antérieurement. En remontant la série des âges géologiques, on trouverait des formes de moins en moins complexes, et on arriverait, en dernière analyse, aux premiers êtres créés. Ceux-ci auraient eu une organisation excessivement simple; complétement microscopiques, formés par la réunion d'une ou plusieurs cellules, ils auraient été produits sous l'influence exclusive des forces physiques; ils seraient le résultat de la matière amorphe s'organisant elle même. Le lecteur, en voyant quel est le point de départ des partisans de la transmutation des espèces, doit comprendre toute l'importance du débat récemment soulevé à propos des générations spontanées.

Lamarck soutenait que les espèces varient sans cesse par suite des changements dus aux actions et aux habitudes; ces changements se transmettent par la génération et s'ajoutent à ceux qui se sont déjà opérés antérieurement; ils finissent par imprimer à l'individu auquel ces variations sont ainsi transmises une forme tellement différente de celle du type primitif qu'on doit voir en lui une espèce nouvelle. « Tous les êtres organisés, » disait-il, « sont de véritables productions de la nature, qu'elle a successivement exécutées à la suite de beaucoup de

temps ; la nature a commencé et recommence encore tous les jours par former les corps organisés les plus simples ; elle ne forme directement que ceux-là, et ce sont ces premières ébauches de l'organisation qu'on a désignées par l'expression de générations spontanées. A mesure que les circonstances extérieures changent, elles modifient profondément les êtres ; pour ceux-ci, des circonstances naissent les besoins, des besoins les désirs, des désirs les facultés, des facultés les organes. » Pour expliquer comment, après une si longue série de siècles écoulés depuis le commencement du monde, il existe encore des animaux et des plantes appartenant aux types inférieurs, Lamarck admettait que des monades ou êtres rudimentaires se forment constamment dans la nature, et que ces espèces de monades sont en nombre égal à celui des divisions de premier ordre dans les règnes animal et végétal.

Pour les deux Geoffroy Saint-Hilaire, la transmutation des espèces s'opérerait sous l'influence des milieux ambiants. Selon eux, l'espèce est fixe sous la raison de l'état conditionnel de son milieu ambiant ; elle se modifie, elle change, si le milieu ambiant varie et selon la portée de sa variation ; d'où il résulte que, parmi les êtres récents et actuels, on ne doit pas voir et l'on ne voit pas se produire de différence essentielle; pour eux, c'est le même cours d'événements comme la même marche d'excitation. Au contraire, le monde ambiant ayant subi, d'une époque géologique à l'autre, des changements plus ou moins considérables, l'atmosphère ayant même varié dans sa composition chimique, les êtres actuels doivent différer, par leur organisation, de leurs ancêtres des temps anciens, et en différer selon le degré de la puissance modificatrice.

M. Darwin, dans son célèbre ouvrage sur l'*Origine des Espèces,* assimile les procédés mis en œuvre par la nature à ceux

que l'homme emploie pour produire les races; on sait comment les éleveurs en effectuant des croisements entre des individus convenablement choisis, parviennent à obtenir des races déterminées ; ils procèdent par sélection. Mais il y a aussi une *sélection naturelle*, en vertu de laquelle les individus venus au monde avec des modifications appropriées au milieu où ils vivent tendent à remplacer ceux qui n'ont pas acquis ces modifications ou qui en ont subi de défavorables ; ceux-ci sont destinés à disparaître tôt ou tard de la scène de la vie. Dans la nature, c'est le milieu où vit l'être organisé qui fait fonction d'agent sélecteur. Du reste, pour donner en peu de mots une idée juste du livre de M. Darwin, je ne puis mieux faire que de transcrire les lignes suivantes où sir Lyell résume avec impartialité la théorie de son compatriote : « En parcourant l'ouvrage de M. Darwin, on voit que cet écrivain commence par faire au monde animal et au monde végétal l'application de la théorie de Malthus sur la population, c'est à dire qu'il admet sa tendance à croître suivant une progression géométrique, tandis que les sources d'alimentation ne s'augmentent, et encore dans certaines localités, que suivant une progression arithmétique. Il en résulte qu'il n'y a ni place ni moyens de subsistance pour une grande proportion des plantes et des animaux qui viennent au monde, et qu'un grand nombre doit périr chaque année. La lutte, qui doit décider quels seront ceux qui survivront et ceux qui succomberont, a lieu dans la saison où les moyens de subsistance sont les plus restreints, où les ennemis sont les plus nombreux, où les individus sont affaiblis par le climat et par d'autres causes ; c'est alors que les variétés qui ont un avantage, fût-il des plus légers, sur les autres, demeurent victorieuses, et ne doivent souvent leur salut qu'à des différences qui paraîtraient futiles à un observa-

teur d'occasion ; ce seront, par exemple, une couleur plus ou moins foncée, qui les rend moins visibles aux espèces dont elles sont la proie ; d'autres fois, des qualités plus manifestement avantageuses, un instinct plus rusé, un vol plus puissant, des pieds plus rapides. Ces qualités et facultés particulières, tant physiques qu'instinctives, peuvent leur permettre de survivre à leurs rivales moins favorisées, et, en les transmettant par héritage à leurs rejetons, elles constitueront de nouvelles races, ou ce que M. Darwin appelle des « commencements d'espèce. » Les éleveurs savent qu'on peut, au bout de quelques générations, faire une nouvelle race de bétail, à courtes cornes ou sans cornes, en choisissant comme animaux reproducteurs ceux dont les cornes sont les moins développées; ainsi, dit-on, fait la nature ; elle altère, dans le cours des âges, les conditions de la vie, les traits géographiques d'un pays, son climat, l'association de plantes et d'animaux, par conséquent, la nourriture et les ennemis d'une espèce et son mode d'existence, et par ces moyens elle choisit certaines variétés mieux adaptées au nouvel ordre de choses. C'est ainsi que de nouvelles races peuvent supplanter le type originel dont elles descendent, bien que le type ait pu s'être perpétué sans modification, pendant une série illimitée d'âges antérieurs dans la même contrée, tant qu'il s'est trouvé en harmonie avec les conditions physiques du milieu environnant. — Lamarck, en cherchant l'origine du long cou de la girafe, disait que cet animal s'était étendu pour atteindre les rameaux d'arbres élevés, jusqu'à ce qu'à la suite d'efforts continus, et à force de chercher à arriver de plus en plus haut, il eut acquis un cou allongé. M. Darwin suppose simplement que, pendant une saison de disette, une variété à long cou eut l'avantage sous ce rapport sur le reste de l'espèce, lui survécût grâce à ce qu'elle pût brouter le feuillage hors de

la portée des autres, et transmit à ses successeurs cette particularité de conformation. »

D'après ce qui précède, on voit que Lamarck, les deux Geoffroy Saint Hilaire et Darwin ne sont pas complétement d'accord sur les causes qui déterminent les variations des espèces d'une génération à la suivante. Mais ils admettent, d'une manière plus ou moins explicite, le même point de départ dans la série des êtres ; ils sont hétérogénistes. Ils accordent à la matière brute la propriété de s'organiser elle même de manière à déterminer la formation de plantes et d'animaux ; ensuite, ils mettent en œuvre la double faculté qu'ont les êtres organisés de donner naissance à des individus semblables à leurs parents, mais en différant quelquefois par certains caractères anatomiques ou instinctifs ; enfin, ils déclarent que les variations de caractères s'effectuent de telle sorte que chaque forme organique tend à se porter vers un degré plus élevé de l'échelle animale ou végétale.

Il est bien peu de géologues qui aient adopté la théorie, si séduisante mais si spécieuse, de la création des espèces par voie de transmutation et de perfectionnement. J'ai indiqué, au commencement de ce chapitre, les motifs qui m'engageaient à ne pas prendre part à certaines controverses. Je me bornerai à faire à la théorie de la transformation indéfinie des espèces une seule objection qui a pour moi une telle importance et un tel caractère qu'elle constitue, en quelque sorte, une fin de non recevoir.

Cette théorie a contre elle tous les arguments que l'on oppose à la doctrine de la perfectibilité (*posteà*, chap. V) ; il est certains genres, certaines familles, certaines classes même, telles que celles des reptiles et des poissons, qui, à chaque époque, ont été représentées par des espèces de moins en moins par-

faites. Elle est incompatible avec ce que nous savons sur le caractère général des transformations successives de la flore et de la faune, depuis les premiers temps géologiques jusqu'à nos jours. Chaque époque a ses types spéciaux que rien ne rattache aux types des époques voisines. Dans la filiation des formes organiques on constate de nombreux hiatus qui ne devraient pas exister si la doctrine de la transmutation des espèces était fondée. A peine peut-on citer quelques faits comme exemples de passages insensibles d'une espèce à une autre, tandis que ces passages devraient être la règle générale. Il n'est pas de paléontologiste ni de zoologiste qui puisse, par exemple, admettre que les oiseaux sont une transformation des ptérodactyles ; on ne conçoit pas pourquoi la peau de ces derniers se serait recouverte de plumes plutôt que de tout autre organe épidermique, et, de plus, les débris recueillis dans les strates n'ont jamais montré de formes intermédiaires entre ces deux types d'animaux. Ces objections, que l'on a faites depuis longtemps à la doctrine de la transmutation des espèces, sont si sérieuses que M. Darwin se trouvant obligé d'y répondre, déclare que, « si chaque collection de fossiles ne montre pas avec une entière évidence la gradation et la mobilité des formes de la vie, c'est que les documents géologiques sont beaucoup plus incomplets que la plupart des géologues ne le pensent. » La première conclusion que l'on serait en droit de tirer de la remarque de M. Darwin, c'est que la paléontologie n'apporte aucun argument contraire ou favorable à sa théorie qui, par conséquent, manque de base sérieuse. Mais, si le fait de la transmutation des espèces était aussi général, aussi permanent que le prétendent quelques savants, nos collections géologiques, quelqu'incomplètes qu'elles soient, apporteraient de nombreux témoignages en sa faveur.

En dernière analyse, on est réduit à reconnaître que nous ignorons complétement comment les êtres organisés ont été créés et rien ne semble devoir nous relever de notre ignorance à cet égard. Nous ne pouvons même dire si ces êtres se sont montrés pour la première fois à l'état d'œuf, d'individu jeune ou adulte. On est forcément amené à penser qu'à divers intervalles des êtres ont été créés par un acte exprès de la volonté divine, ou en vertu d'une force mystérieuse, appelée *puissance créatrice, pouvoir créateur*, etc., et destinée à rester perpétuellement inconnue. Cette opinion, la seule en relation avec les faits, est, pour les uns, un aveu d'impuissance; pour les autres, elle se lie intimement à leurs idées religieuses; dans un cas et dans l'autre, elle se dérobe à toute discussion scientifique. Ainsi que le prétend l'école positiviste, nous pouvons observer les phénomènes, étudier leurs lois, mais nullement remonter aux causes premières.

Causes de la disparition des espèces. — Les faunes et les flores se sont renouvelées non seulement par l'apparition d'espèces nouvelles, mais aussi par la disparition des espèces anciennes.

Parmi les causes qui déterminent la disparition de chaque espèce, il en est qui dépendent des circonstances extérieures et du milieu dans lequel vivent les êtres organisés. Chaque individu, considéré en lui même et dans sa progéniture, — en d'autres termes, chaque espèce, — est doué d'une certaine capacité de déviation. L'espèce est variable; il faut qu'il en soit ainsi pour que l'être organisé puisse lutter contre les changements climatologiques et autres qui s'opèrent autour de lui. Mais cette capacité de déviation est limitée, et lorsque l'accord possible entre la nature propre d'un être organisé et les conditions du milieu où il se trouve est rompu, l'individu meurt.

Les climats, le relief du sol et toutes les choses qui ont une relation plus ou moins directe avec les êtres organisés variant sans cesse à la surface du globe, il doit venir un moment où une espèce disparaît de la localité qu'elle habite. Si, dans l'intervalle, des circonstances favorables ne l'ont pas transportée dans des localités où elle puisse continuer à exister, elle disparaît en même temps de la scène de la vie.

Une des meilleures preuves de la disparition possible de certaines espèces par suite de changements dans les conditions topographiques et climatologiques nous est fournie par ce qui s'est passé pendant l'ère jovienne, la période qui, étant la plus récente, se prête le mieux à ce genre de recherches. Pendant toute cette période, la faune marine et la flore n'ont pas subi de modifications sensibles; les espèces actuelles d'animaux marins et de plantes paraissent avoir vécu pour la plupart dès le commencement de l'ère jovienne; les changements climatologiques n'ont eu d'autre influence sur elles que de les déplacer soit vers le sud, soit vers le nord, suivant que la température s'abaissait ou s'élevait. La faune des mammifères, au contraire, a été en majeure partie détruite pendant chaque période glaciaire, c'est à dire à deux reprises distinctes. A quoi tient cette différence? Les variations de température sont bien moins sensibles dans l'océan que dans l'atmosphère; par conséquent, elles ont dû affecter à un moindre degré les êtres vivant dans les eaux. D'un autre côté, on sait que les plantes et les animaux marins se reproduisent par des œufs, des graines ou des germes d'un très petit volume, faciles à être transportés d'un point à un autre par divers agents, tels que les courants océaniens. On conçoit comment lorsque des espèces disparaissaient de certaines localités devenues impropres à leur existence, elles pouvaient se propager ailleurs pour

revenir ensuite à leur point de départ lorsque le climat s'était modifié. Les mammifères ne peuvent pas s'expatrier aussi facilement et leurs descendants sont forcément fixés au sol où leurs parents ont vécu ; non seulement ils sont plus exposés à devenir les victimes des changements climatériques qui se produisent dans les contrées qu'ils habitent, mais ils peuvent encore périr par défaut d'alimentation lorsque les espèces de végétaux dont les herbivores se nourrissent ont émigré. Si l'on apprécie à leur juste valeur les modifications qui, pendant la seconde période glaciaire, ont été apportées au climat et à la végétation de l'Europe, on comprend sans peine que le mammouth et d'autres mammifères n'aient pu leur résister. Mais il n'est nullement démontré que toutes les espèces de mammifères existant au moment où a commencé chacune des deux périodes glaciaires aient été anéanties par suite du refroidissement du climat. Ce que l'on sait des transformations successives de la faune jovienne autorise à penser que quelques unes de ces espèces ont résisté aux changements climatériques et ont pris rang dans la faune qui s'est montrée à la surface du globe après chaque période de froid.

Mais ce qui achève de démontrer que les changements dans la constitution topographique d'une contrée peuvent produire l'anéantissement des espèces, ce sont les mouvements du sol s'abaissant et s'exhaussant de manière à amener l'arrivée ou l'expulsion des eaux de l'océan dans une même contrée. Evidemment chacune de ces révolutions a pour conséquence la disparition immédiate des espèces terrestres, lorsque le sol s'affaisse, et des espèces marines, lorsque le sol s'exhausse. Si ces espèces ne sont pas représentées dans d'autres régions mises à l'abri des oscillations du sol, elles disparaissent définitivement de la surface du globe.

Peut-être aussi une espèce à force d'habiter une même station perd-elle peu à peu sa vitalité? Peut-être lui est-il nécessaire de passer sur d'autres points pour acquérir une nouvelle énergie vitale? C'est sur ce fait qu'est fondé, en économie agricole, le principe de l'alternance des cultures. On sait aussi que les agriculteurs n'ensemencent pas leur champ avec le grain qu'ils y ont recueilli; ils se procurent de la semence provenant de pays plus ou moins éloignés. L'expérience leur a appris que le même grain, semé plusieurs fois sur le même sol, s'y abâtardit.

La dépendance mutuelle qui existe entre les divers organismes sous le rapport de leur alimentation donne plus d'énergie aux causes de destruction qui viennent d'être énumérées. La disparition de certains végétaux entraîne avec elle celle de certains animaux herbivores; l'extinction de ces animaux herbivores doit avoir pour conséquence l'anéantissement des animaux carnassiers qui s'en nourrissent. D'un autre côté, le développement des animaux carnassiers peut quelquefois avoir pour effet de détruire celles de ces espèces herbivores que leur organisation empêche de se dérober plus facilement à leur poursuite. L'homme, si son apparition n'était pas relativement très récente, me fournirait le meilleur exemple de cette action destructive exercée par certaines espèces sur d'autres espèces habitant les mêmes régions. Sa présence à la surface du globe entraîne avec elle l'appauvrissement incessant de la flore et de la faune des contrées où se développe la civilisation.

Je viens d'énumérer les causes multiples qui peuvent produire l'extinction des espèces. Toutefois, si, en présence des chances de destruction auxquelles une espèce est soumise, on oppose les chances de conservation qu'elle possède, on est bien-

tôt pénétré de cette pensée qu'il faut un temps très long pour que la disparition d'un grand nombre de formes animales et végétales s'effectue. On est ainsi conduit à rechercher des agents de destruction plus puissants que ceux qui viennent d'être indiqués.

Nous avons établi l'impossibilité de recourir à des cataclysmes se manifestant sur toute la surface du globe. Il faut donc, pour expliquer la disparition des formes animales et végétales, admettre que chaque espèce a, comme l'individu, une limite fatale à son existence, ou supposer une cause inconnue, mystérieuse; venant à divers intervalles anéantir la majeure partie des êtres existants pour les remplacer par des espèces nouvelles.

L'espèce au point de vue géologique. — Les naturalistes sont loin d'être d'accord sur ce qu'il faut entendre par le mot *espèce*. Les uns soutiennent que l'espèce existe et qu'elle est immuable dans tous les pays et pendant tous les siècles; les autres, ainsi que nous venons de le voir, pensent, au contraire, qu'elle varie indéfiniment et qu'elle n'est, par conséquent, qu'une abstraction de notre esprit. Je crois inutile de présenter au lecteur le résumé des débats soulevés à ce sujet; il me suffira d'exposer, en peu de mots, quelle est l'idée que l'on doit, selon moi, se faire de l'espèce, surtout lorsqu'on se place à un point de vue purement géologique.

L'espèce est tout à la fois une réalité et une convention.

L'espèce est une réalité parce que, quelle que soit la puissance de déviation dont elle puisse être douée, cette puissance a des limites; l'homme n'est point un singe perfectionné, ainsi que le disait Lamarck. Transportons-nous par la pensée à un moment de rénovation organique; chacun des êtres nouvellement

créés sera suivi d'un nombre considérable de générations : l'ensemble des individus provenant d'un même être, vivant à la même époque ou à des époques différentes, constituera une espèce, dont le prototype nous sera fourni par l'individu qui aura servi de souche à ces générations successives. En appréciant à sa juste valeur la puissance de déviation dont peuvent être doués, par rapport à leur prototype, les individus appartenant à une même descendance, il sera possible de reconnaître pour chaque être organisé le prototype dont il provient et, par conséquent, de désigner son espèce. Il est permis, au moyen d'expériences et d'observations multipliées, de calculer l'amplitude du mouvement oscillatoire de l'espèce; ce mouvement oscillatoire s'effectue entre des limites encore indéterminées pour nous, mais réelles.

Expliquons maintenant pourquoi, selon nous, l'espèce est une convention. Soient D et K deux formes parfaitement caractérisées. Elles constituent deux espèces bien distinctes; mais des formes intermédiaires *a*, *b*, *c*, etc., rattachent ces deux espèces entre elles et à d'autres espèces voisines. Nous avons donc une série de formes organiques passant insensiblement les unes aux autres et, dans cette série, qui présente la disposition suivante

..... *a*, *b*, *c*, D, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *j*, K, *l*, *m*.....,

les formes intermédiaires ne sont pas seulement des hybrides ; elles ont une existence indépendante et si, après plusieurs générations, elles sont susceptibles de revenir vers les types D ou K, c'est grâce au pouvoir de déviation inhérent à chaque forme et non en vertu de cette loi qu'on a appelée *retour au type primitif*. Deux autres termes de la série pourraient être choisis comme types, c'est à dire comme espèces et

alors D et K passeraient à l'état de formes intermédiaires. C'est pour cela qu'il nous paraît permis de penser qu'il y a toujours dans la détermination des espèces quelque chose de laissé à l'arbitraire.

Nous avons dit que tous les termes de la série qui vient d'attirer notre attention ont une existence indépendante. Chaque fois, en effet, qu'une nouvelle colonie d'êtres organisés apparaît sur notre planète, ceux-ci n'y arrivent pas par individus prototypes. La nature ne veille pas à ce que chacune des formes nouvellement créées soit représentée par un type unique et toujours également éloigné des types voisins. Elle se soucie fort peu et de nos classifications et de l'espèce qui n'existe pas pour elle. Elle a répandu la vie comme au hasard, à profusion, j'allais dire sans ordre. En un mot, la faune actuelle, par exemple, a offert, dès le premier jour de son apparition, la variété de formes que nous lui voyons déployer à nos yeux.

Par conséquent, en se plaçant à un certain point de vue, on peut dire que l'espèce n'a pas une existence réelle. Il est impossible d'en donner une définition rigoureuse et de fournir un critérium qui permette de s'en faire une idée bien précise. L'emploi des semis, l'étude des hybrides et des croisements, l'observation du nombre des générations pendant lesquelles certaines espèces sont fécondes, etc., ne prouvent rien contre ceux qui font remonter l'origine de la variété infinie des formes organiques à l'époque où chaque rénovation s'est opérée. Les procédés indiqués pour reconnaître les espèces ne sont pas d'ailleurs d'une application possible pour la presque totalité des animaux et des végétaux vivant actuellement; leur emploi est même tout à fait impraticable pour le géologue.

Pourtant, l'espèce plus ou moins bien comprise est la base de la science. Dans la nécessité où l'on est de lui supposer une

existence quelconque et dans l'impossibilité d'en donner une définition rigoureuse, il semble convenable de se placer à un point de vue philosophique et de se représenter la marche de la nature, lorsqu'elle fonctionne comme puissance créatrice.

Comme puissance créatrice, la nature n'a pas de limites. Entre deux formes organiques quelconques, elle peut en placer une troisième et, par des interpolations successives, parvenir à rendre insensibles les nuances qui lient une forme à une autre. Les formes organiques constituent, depuis l'infusoire jusqu'à l'homme, une série qui croît selon une raison représentée par un nombre variable, souvent très faible. Cette série nous montre les espèces se fondant les unes dans les autres comme les couleurs du prisme. Elle est sur certains points interrompue par des hiatus que les découvertes géologiques font disparaître en grand nombre. Pour y établir des coupes séparant les formes qui se rattachent à un même type appelé « espèce, » on est obligé de suivre une méthode un peu arbitraire. Dans ce travail, le naturaliste ne doit pas compter sur un critérium incontestable; il doit se fier à son tact; il doit compter et peser avec soin, avant de se prononcer, les ressemblances et les dissemblances qui existent entre les formes qu'il compare et c'est là, en définitive, ce que font tous les naturalistes, même lorsqu'ils sont partisans convaincus de l'invariabilité des espèces.

CHAPITRE III.

HISTOIRE GÉOLOGIQUE DES PRINCIPAUX GROUPES D'ANIMAUX ET DE VÉGÉTAUX.

Époques où les principaux groupes de végétaux et d'animaux ont apparu, où ils ont acquis leur maximum d'extension et où ils ont cessé d'exister. — Thallophytes et acrogènes; sigillaires; calamites; etc. — Gymnospermes; conifères, cycadées. — Angiospermes, gamopétales. — Monocotylédonées. — Rhizopodes, polypiers, échinodermes, bryozoaires, nummulites, graptolites. — Gastéropodes, lamellibranches. — Brachiopodes, céphalopodes; rudistes; ammonites, bélemnites. — Annélides, crustacés, insectes, etc.; trilobites. — Vertébrés. — Poissons; placoïdes, ganoïdes, téléostéens; poissons hétérocerques et homocerques. — Reptiles; batraciens, ophidiens, sauriens, ichthyosauriens, labyrinthodontes, ptérodactyles, etc. — Oiseaux. — Mammifères et leurs principaux ordres.

Je vais, dans ce chapitre, esquisser rapidement l'histoire géologique des principaux groupes d'animaux et de végétaux. J'indiquerai le moment où chacun d'eux s'est montré pour la première fois à la surface du globe et celui où il a cessé d'exister; je dirai également quelle est la période pendant laquelle il a atteint son maximum de développement et a été représenté par le plus grand nombre d'espèces et d'individus.

Parmi les faits que j'aurai à rappeler, il en est un grand nombre qui paraissent définitivement acquis à la science. Je citerai notamment ceux qui sont relatifs à l'absence complète ou à l'existence de certaines formes organiques pendant une ou plusieurs périodes. Ne peut-on pas affirmer, par exemple, que

les ammonites et les bélemnites n'ont pas cessé de faire partie de la faune jurassique, tandis qu'il n'en existait plus pendant la période tertiaire? Le géologue est convaincu de l'absence de certaines espèces dans certains terrains non seulement parce qu'il n'y rencontre jamais leurs débris, mais aussi parce qu'il sait que de nouveaux types ont remplacé ceux dont il connaît la disparition. D'autres faits n'ont, pour ainsi dire, qu'une certitude provisoire. Il est évident, par exemple, que de futures découvertes auront pour résultat de faire remonter de plus en plus dans la série des âges géologiques les dates que nous donnons actuellement comme marquant la première apparition d'un grand nombre de types. Mais, quelles que soient les nouvelles acquisitions de la science, on peut entrevoir déjà les principales lois qui ont présidé aux transformations successives des faunes et des flores.

Cryptogames thallophytes et à tissu cellulaire. — Les *cryptogames thallophytes*, tels que les algues, les champignons et les lichens, sont ceux dont l'organisation présente le plus de simplicité. Ces végétaux, exclusivement formés de tissu cellulaire, sont entièrement constitués par un thallus ou expansion membraneuse n'offrant pas d'axe proprement dit. Les mousses, pourvues d'un axe et de feuilles, mais ne présentant pas dans leurs tissus de véritables vaisseaux, se joignent aux thallophytes pour composer avec elles l'avant-garde que l'organisme envoie lorsqu'il veut prendre possession d'un point qui vient d'être soumis à son influence. Sans doute aussi ces végétaux ont été ceux que la force organique créa, après s'être pour ainsi dire essayée en mettant au monde les microphytes. Les premiers végétaux qui se montrèrent dans les eaux de l'océan vers la fin de l'ère neptunienne furent des algues et la pre-

mière île qui surgit à la surface de notre planète se couvrit, dès son apparition, de végétaux semblables par leur organisation aux cryptogames cellulaires de l'époque actuelle. Les empreintes végétales rencontrées dans le terrain cumbrien, c'est à dire dans le terrain fossilifère le plus ancien, sont des fucoïdes. Depuis lors, les thallophytes ont sans doute toujours occupé une place dans les flores qui se sont succédées, et, si leurs débris fossiles sont très rares, surtout pour les thallophytes terrestres, il faut attribuer cette circonstance à la délicatesse de leurs tissus et aux conditions défavorables de leur fossilisation.

Cryptogames acrogènes. — La flore des périodes cumbrienne et silurienne est jusqu'à présent exclusivement marine; le terrain silurien possède pourtant des gisements d'anthracite qui témoignent indirectement en faveur de l'existence de végétaux terrestres pendant que ce terrain se déposait. Le terrain dévonien nous montre, dans la *Sigillaria Hausmanni*, la plus ancienne plante terrestre connue. Cette plante appartient à un groupe qui prend rapidement une telle importance que la période paléozoïque est considérée avec raison comme étant le « règne des acrogènes. » A dater du commencement de la période triasique, les acrogènes ne jouent plus qu'un rôle secondaire dans les flores qui se succèdent.

Je viens de dire que la *Sigillaria Hausmanni*, découverte dans le terrain dévonien inférieur de la Norwège, constitue le témoignage le plus ancien de l'existence des plantes terrestres à la surface du globe. C'est vers la fin de la période dévonienne et pendant la période carbonifère qu'apparaissent les formes végétales dont se compose la flore houillère; mais toutes n'ont pas la même durée. Si les *prêles* et les *fougères* persistent sans

interruption jusqu'à l'époque actuelle, les *sigillaires* cessent de faire partie de la flore de notre planète dès le commencement de la période permienne ; les *lépidodendrons* disparaissent avant la période triasique et les *calamites* avant celle du lias.

Dicotylédonées gymnospermes. — Ce groupe comprend la famille des *cycadées*, spéciale aux régions chaudes, et celle des *conifères*, qui a des représentants dans toutes les régions du globe et sous toutes les latitudes. C'est dans le grès bigarré que l'on trouve les premiers débris appartenant incontestablement à des cycadées; cette famille persiste pendant les périodes jurassique et crétacée, mais elle disparaît, du moins en Europe, à dater du commencement de la période tertiaire. Quant aux conifères, leur première apparition remonte à la période dévonienne supérieure; depuis lors, ils n'ont pas cessé de faire partie de toutes les flores qui se sont succédées. C'est pendant la période mésozoïque que les conifères ont atteint leur maximum de développement; c'est seulement pendant cette période que les cycadées ont vécu, du moins en Europe. Aussi la période mésozoïque est-elle considérée avec raison comme ayant été le « règne des gymnospermes. »

Dicotylédonées angiospermes. — Les *angiospermes*, qui constituent plus des trois quarts de la flore actuelle, manquent complétement dans tous les terrains antérieurs à la période crétacée. Les premiers débris, ayant appartenu à des végétaux de ce groupe, ont été rencontrés dans la craie chloritée de la Scanie; ces débris, d'ailleurs peu nombreux, accusent l'existence de végétaux semblables au noyer, au chêne, à l'aulne, au bouleau, c'est à dire à des arbres de la famille des amen-

tacées, caractérisée en partie par des fleurs peu apparentes ou, du moins, non colorées. C'est à la période néozoïque que correspond le « règne des angiospermes. »

Les diverses familles dont se compose le groupe des angiospermes n'ont pas eu toutes la même destinée; celles du groupe des *gamopétales*, par exemple, n'existaient pas encore pendant la période éocène ou nummulitique; elles n'ont apparu qu'à partir de la période miocène et ce n'est que pendant l'ère jovienne qu'elles ont acquis l'importance qu'elles offrent actuellement.

Monocotylédonées. — Dans les formations antérieures au terrain crétacé, les *monocotylédonées* ne comptent que des représentants excessivement rares et d'un caractère très douteux, tels que les *antholites* du terrain houiller de Newcastle. Pour Lindley, ces antholites seraient des fleurs en épis munies de calices et de pétales linéaires; M. Hooker, qui avait d'abord pensé que les antholites étaient peut-être des touffes de jeunes feuilles semblables à celles du *Larix*, a été plus tard conduit à adopter l'opinion de Lindley; mais il fait observer que les monocotylédonées et les dicotylédonées comprennent des genres auxquels les antholites peuvent être comparés.

C'est dans les lignites de l'île d'Aix (Charente) que l'on rencontre les plus anciens débris pouvant être rattachés d'une manière incontestable aux monocotylédonées; ce sont des *Zostera*. Il est donc permis de faire remonter la première apparition de cet embranchement au commencement de la période crétacée. A dater de ce moment, les monocotylédonées prennent une extension toujours croissante, sans atteindre toutefois l'importance des dicotylédonées angiospermes.

Les plus anciennes traces de *palmiers* ont été aperçues dans

le terrain crétacé supérieur de la Bohême et de la Silésie. Ces végétaux ont été très nombreux pendant les périodes éocène et miocène, mais, pendant la période pliocène, ils n'existaient plus, du moins en Europe; l'abaissement de la température ne leur permettait plus alors de croître dans un grand nombre de régions trop éloignées de la zone équatoriale.

Rhizopodes, polypiers, échinodermes, bryozoaires. — L'histoire géologique de ces classes, considérées dans leur ensemble, ne montre rien de bien saillant à signaler. Ces diverses classes étaient représentées à la surface du globe dès la fin de la période cumbrienne; depuis lors, elles n'ont pas cessé de faire partie des faunes qui sont venues les unes après les autres: les genres et les familles de chacune d'elles se succèdent et se remplacent en persistant pendant un temps tantôt très long, tantôt très court. Quelques familles sont spéciales à certaines périodes et caractérisent les terrains qui leur correspondent. Les *nummulites* commencent et cessent avec la période éocène qui, par conséquent, peut parfaitement bien recevoir l'épithète de nummulitique. Les *graptolites* sont spéciales au terrain silurien proprement dit, c'est à dire amoindri de toutes les strates qu'on réunit sous le nom de terrain cumbrien.

Gastéropodes, lamellibranches. — Les gastéropodes et les lamellibranches ont presque la même histoire géologique. Les uns et les autres ne font pas partie de la faune première ou cumbrienne; ils se montrent pendant la période silurienne; à dater de leur première apparition, ils prennent une extension de plus en plus grande jusqu'à l'époque actuelle où ils présentent leur maximum de développement.

Les *gastéropodes pulmonés* existaient déjà au moins dès la

fin de la période jurassique, mais ce n'est qu'à dater du commencement de la période tertiaire qu'ils ont vécu en grand nombre.

Brachiopodes et céphalopodes. — C'est à dessein que je réunis ici ces deux classes de mollusques ; leur histoire géologique est, en effet, la même. Elles acquièrent, dès la période paléozoïque, leur maximum de développement, conservent une grande partie de leur importance pendant la période jurassique, puis décroissent rapidement pour présenter leur minimum d'extension pendant la période actuelle. On voit que les brachiopodes et les céphalopodes ont eu une destinée inverse de celle des gastéropodes et des lamellibranches.

Les *rudistes*, que l'on s'accorde maintenant à placer parmi les brachiopodes, sont spéciaux à la période crétacée.

Parmi les céphalopodes, ce sont les *tentaculifères* qui, toujours pourvus d'une coquille externe, ont surtout laissé leurs débris dans les strates sédimentaires ; ce sont eux, par conséquent, qui se prêtent le mieux aux remarques que l'on peut faire sur le mode de répartition géologique des animaux. Les céphalopodes tentaculifères de la période paléozoïque ont une coquille à cloisons simples, tandis que ceux de la période mésozoïque ont une coquille à cloison présentant des sinuosités nombreuses. Ceux de la période crétacée sont en outre remarquables par le grand nombre de formes qui résultent des divers modes d'enroulement de leurs coquilles (genres *Scaphites, Crioceras, Baculites,* etc.).

Les ammonites, qui appartiennent au groupe des tentaculifères, et les bélemnites, qui font partie des acétabulifères, doivent être comptées au nombre des formes les plus caractéristiques de la période mésozoïque.

Annelés à respiration aquatique. — Les *annélides* ont laissé des traces de leur ancienne existence sous forme de tubes ou de perforations. Ces traces existent dans tous les terrains fossilifères depuis les plus anciens jusqu'aux plus récents.

Le fait le plus remarquable dans l'histoire géologique des *crustacés* nous est fourni par les *trilobites ;* ces animaux se montrent dans le terrain cumbrien inférieur, et disparaissent d'une manière absolue immédiatement après le dépôt du terrain carbonifère proprement dit ; ils caractérisent la période trilobitique. Les crustacés *décapodes,* qui ont pour types le crabe et l'écrevisse, manquent pendant la période paléozoïque; les espèces de cet ordre apparaissent pour la première fois pendant la période du trias et deviennent de plus en plus nombreuses jusque vers le milieu de la période jurassique ; à dater de ce moment, le groupe des crustacés décapodes perd de son importance pour reprendre une nouvelle extension pendant la période quaternaire.

Les *cirrhipèdes* datent de la période carbonifère ; ils sont de plus en plus abondants à mesure que l'on se rapproche de la période actuelle.

Annelés à respiration aérienne. — Les animaux compris sous cette désignation, les *insectes* par exemple, sont très nombreux de nos jours, mais ont peu de représentants à l'état fossile. Cette rareté ne doit pas nous faire supposer qu'ils entraient pour une faible part dans les faunes anciennes ; elle provient de la délicatesse des organes de ces animaux, de la fragilité de leurs téguments et des conditions défavorables de leur fossilisation.

Les strates les plus anciennes où l'on ait trouvé des débris d'annelés à respiration aérienne appartiennent au terrain

houiller de Coalbrook-Dale (Angleterre) et de Saarbrück, où l'on a recueilli des ailes de *névroptères* et des élytres de *coléoptères*. Le terrain houiller des environs de Prague (Bohême) a fourni une empreinte de *scorpion* fossile. Depuis le terrain houiller jusqu'aux formations les plus récentes, des strates avec empreintes d'*insectes*, de *myriapodes* et d'*arachnides* se montrent à divers intervalles; les strates renfermant ces empreintes sont celles dont le dépôt s'est effectué dans des conditions spécialement favorables à la conservation des débris de corps organisés.

Le développement des insectes a été nécessairement influencé par celui du règne végétal. Les forêts des périodes paléozoïque et mésozoïque étaient exclusivement formées de cryptogames et de conifères; elles n'ont pu évidemment abriter des insectes ne vivant que du suc des fleurs à corolle grande et colorée.

Poissons. — C'est à la partie supérieure du terrain silurien qu'appartient la roche qui a fourni l'exemple le plus ancien de l'existence des poissons à la surface du globe. Près de Ludlow, en Angleterre, il existe, à la jonction des terrains silurien et dévonien, un lit qui n'a que quelques centimètres d'épaisseur et qui s'étend sur une longueur de 70 kilomètres, jusque dans le Gloucetshire. Ce lit est formé de fragments roulés d'os de poissons appartenant pour la plupart à l'ordre des placoïdes.

Tous les étages, depuis le terrain silurien jusqu'au plus récent, renferment des débris de poissons, ce qui démontre que ces animaux n'ont jamais cessé de faire partie de la faune marine; lorsqu'on étudie leur mode de répartition, on observe les faits suivants.

L'ordre des *téléostéens*, comprenant les poissons dont l'or-

ganisation est la moins parfaite, n'apparaît que vers la fin de la période crétacée, augmente rapidement d'importance et forme la presque totalité de la faune ichthyologique actuelle.

Les *ganoïdes*, dont font partie l'esturgeon et les poissons à formes anormales de la période paléozoïque, commencent avec l'étage dévonien, atteignent leur maximum de développement pendant la période jurassique et, depuis lors, sont en décroissance.

Les *placoïdes*, qui ont pour types la raie, le requin, etc., et qui, sous le rapport de leur organisation, sont les plus élevés de tous les poissons dans la série animale, se sont montrés les premiers à la surface du globe ; ils datent, ainsi qu'on vient de le dire, de la fin de la période silurienne. Cet ordre a acquis son maximum d'importance dès la période carbonifère ; depuis lors, à part quelques oscillations, il paraît être en décroissance.

Tous les poissons antérieurs au lias, osseux ou cartilagineux, sont *hétérocerques* (sauf les genres sans nageoires caudales) ; depuis et y compris le lias, tous les poissons osseux (sauf de très rares exceptions) sont *homocerques* (1).

Reptiles. — Dans l'état actuel de nos connaissances, la première apparition des reptiles remonte à la période dévonienne supérieure ; elle est attestée par la découverte faite près d'Elgin, dans le terrain dévonien supérieur du Morayshire, d'un squelette

(1) Dans les poissons *homocerques* (ὁμὸς, semblable ; κέρκος, queue), la nageoire caudale, exclusivement composée de rayons, est tantôt simple, tantôt également divisée ; la colonne vertébrale ne se prolonge dans aucun des lobes. Dans les poissons *hétérocerques* (ἕτερος, autre ; κέρκος, queue), tels que le requin et l'esturgeon, la queue est inégalement bilobée, et se prolonge dans le lobe supérieur qui est dominant.

incomplet d'un reptile qui n'avait que 15 centimètres de longueur. Ce reptile a été désigné sous le nom de *Telerpeton Elginense;* le docteur Mantell n'a pu décider si c'était un petit lézard terrestre ou un batracien d'eau douce ressemblant aux salamandres; peut-être ses caractères en faisaient un animal intermédiaire entre les sauriens et les batraciens. La même carrière où a été rencontré le *Telerpeton* avait fourni, une année auparavant, c'est à dire en 1851, une plaque de grès portant 34 empreintes de pas d'un quadrupède. Ces empreintes sont disposées par paires, en deux séries parallèles et séparées les unes des autres par une distance telle qu'on peut évaluer que l'animal qui les a produites avait une enjambée de 40 centimètres; elles ont été attribuées à un reptile à respiration aérienne, ainsi que celles qu'on a découvertes, en Pensylvanie, dans un schiste rouge très ancien que les géologues américains rattachent au terrain dévonien supérieur ou au terrain carbonifère inférieur.

Les reptiles étaient encore peu nombreux pendant les périodes carbonifère et houillère; on ne connaît encore qu'un très petit nombre d'échantillons recueillis dans les terrains correspondant à ces périodes. On a découvert dans les schistes bitumineux (terrain carbonifère) de Munsterappel, dans la Bavière rhénane, une vague empreinte de 16 lignes de longueur, sur laquelle H. de Meyer a établi son *Apateon pedestris,* en supposant que cet animal était voisin des salamandres. Le bassin houiller de Saarbrück a fourni les squelettes de trois espèces distinctes de reptiles appartenant au genre *Archegosaurus;* la plus grande avait près d'un mètre de longueur. Enfin on a signalé, dans les couches houillères de Pensylvanie, des empreintes de pas se rattachant au type *Cheirotherium.* Les reptiles augmentent en nombre pendant la période permienne; pendant la période mésozoïque, leurs espèces sont si nombreuses,

si variées de formes, que l'on considère avec raison cette période comme ayant été le « règne des reptiles, » tandis que la période paléozoïque avait été le « règne des poissons. » A dater du commencement de la période tertiaire, la faune des reptiles perd de son importance; sa décroissance est rendue plus sensible par le développement de la faune des mammifères et des oiseaux.

On a découvert dans le trias et, plus récemment, dans le terrain dévonien, des empreintes de pas qui rappellent la forme des pieds de tortue plus que celle des pieds d'autres reptiles; mais ce n'est que dans le terrain jurassique que l'on a trouvé les plus anciens débris donnant la preuve certaine de l'existence des *chéloniens*. Les restes d'*ophidiens* manquent absolument dans tous les terrains antérieurs à la période tertiaire et sont même très rares dans les formations correspondant à cette période. Les *batraciens* ne datent que du dépôt du terrain falunien; on voit que la première apparition des batraciens, des ophidiens et des chéloniens est relativement récente; si l'on tient compte de leur extension pendant l'ère jovienne, on peut dire qu'ils sont en voie de développement.

L'ordre des *sauriens*, qui a pour types le lézard, le crocodile, est, après les labyrinthodontes, le plus ancien de tous ceux dont se compose la classe des reptiles; il compte encore des représentants dans la faune actuelle. Peu après sa première apparition, qui date de la période permienne (*Protorosaurus Speneri*, des schistes cuivreux de Thuringe), l'ordre des sauriens a pris une extension sans cesse croissante jusqu'à la période jurassique; alors il a offert des espèces très nombreuses et souvent remarquables par leur forme ou leur taille gigantesque. Depuis la période jurassique, qui a vu son maximum de développement, l'ordre des sauriens est en voie de décroissance.

Occupons-nous maintenant de trois ordres de reptiles qui sont spéciaux aux temps géologiques et dont aucun n'a été représenté pendant la période tertiaire.

Les *ptérodactyles* commencent avec le lias (*Ramphorhynchus macronyx* du lias de Lime Regis) et finissent avec la craie blanche (*Pterodactylus giganteus*, à Maidstone, en Angleterre).

Les *énaliosauriens* comprennent deux familles : les *simosauriens* et les *ichthyosauriens*. Les premiers sont spéciaux à la période triasique ; les seconds (*Ichthyosaurus, Plesiosaurus, Pliosaurus*) commencent avec la période liasique et atteignent, dès ce moment, leur maximum de développement ; ils sont ensuite en décroissance et disparaissent vers le milieu de la période crétacée.

Les *labyrinthodontes* forment un ordre intermédiaire par ses caractères entre les sauriens et les batraciens ; ils ont eu dans la période dévonienne leur première apparition (*Telerpeton Elginense*) ; très abondants pendant la période triasique, ils n'étaient plus représentés, lors du dépôt du lias, que par une seule espèce, le *Rhynosaurus Jasy-Kovi*, recueilli dans le gouvernement de Simbirsk.

OISEAUX. — Quelques unes des empreintes de pas signalées par M. Hitchcock dans le grès rouge du Massachussetts paraissent bien avoir été produites par des oiseaux ; c'est donc à la période triasique qu'il faudrait faire remonter la première apparition de cette classe. (1) Les traces de l'ancienne existence des oiseaux

(1) Quelques paléontologistes se refusent à voir dans ces empreintes les traces de pas d'oiseaux ; je vais énumérer les faits sur lesquels on peut s'appuyer pour être autorisé à reconnaître en elles des ornithichnites.

Les traces de pas signalées par M. Hitchcock sont composées de trois impressions comme celles que feraient les trois doigts d'un oiseau, la médiane étant la plus longue. La plupart de ces impressions montrent le même nombre

chés à quatorze espèces différentes et aux genres *Triconodon*, *Spalacotherium* et *Plagiaulax;* ces diverses espèces offrent, dans leur organisation, des traits de ressemblance avec celles qui viennent d'être citées.

On n'a pas encore découvert, dans les terrains antérieurs à la série tertiaire, de débris de mammifères autres que ceux dont je viens de parler. Ces débris, jusqu'à présent, manquent d'une manière absolue dans le terrain crétacé. Les mammifères représentés par les restes recueillis dans le trias et le terrain jurassique ont été en quelque sorte les avant-coureurs et les espèces prophétiques de la faune mastozoïque qui a joué un rôle prépondérant pendant la période tertiaire, considérée avec raison comme ayant été le « règne des mammifères. »

Comparons maintenant entre eux les divers ordres de mammifères, en ne tenant pas compte toutefois des données qui nous sont fournies par les débris antérieurs à la période tertiaire ; nous avons vu, en effet, qu'il existe encore beaucoup d'incertitude relativement à la place qu'il faut accorder, dans la classe des mammifères, aux animaux représentés par ces débris.

Des débris appartenant incontestablement à des *didelphes* ont été rencontrés en petit nombre dans le gypse de Montmartre et dans les assises correspondantes du midi de la France ; il en a été recueilli aussi dans le terrain miocène inférieur de l'Auvergne. On n'en cite pas dans le terrain pliocène. Ils sont très nombreux dans le terrain diluvien, mais seulement en Australie ; dès le commencement de l'ère jovienne, les didelphes avaient, par conséquent, le même mode de distribution géographique que de nos jours.

Ce que nous venons de dire des didelphes est également applicable aux *édentés*. Ils ne sont représentés, dans le ter-

Stuttgard, quelques ossements et deux dents molaires ayant appartenu à un mammifère que l'on a nommé *Microlestes antiquus*. Diverses considérations permettent de penser que cet animal faisait partie de la faune triasique. — En 1858, on a trouvé, dans le trias de l'Angleterre, des débris d'un mammifère attribués par M. Owen au genre *Microlestes*.— Le docteur Emmons a découvert, en 1856, trois mâchoires inférieures d'un mammifère insectivore dans le terrain houiller de Chatam (Caroline du Nord); il a donné à ce fossile le nom de *Dromatherium sylvestre;* il rattache les couches où il l'a recueilli au terrain permien; sir Lyell, après avoir déclaré que la raison alléguée par le docteur Emmons à l'appui de sa manière de voir, n'a pas une valeur décisive, pense pourtant que le *Dromatherium* date au moins du commencement de la période jurassique. — Les schistes de Stonesfield, placés à la partie moyenne du système oolitique inférieur, ont fourni, en 1808, sept mâchoires inférieures qui ont donné lieu à l'établissement des *Thylacotherium Prevostii, T. Broderipii* et *Phascolotherium Bucklandi*. Dans le même gisement, on a trouvé, en 1854, un fragment de mâchoire qui a servi à l'établissement du *Stereognathus ooliticus*. On s'accorde à considérer ces animaux comme étant des mammifères; mais l'opinion d'après laquelle ces mammifères seraient des didelphes (d'où le nom de *Didelphis* primitivement donné au *Thylacotherium*) n'est plus aussi généralement adoptée; quelques savants seraient portés à les considérer comme des insectivores; d'autres pensent que les débris recueillis ne sont pas assez complets pour qu'on puisse se faire une idée bien exacte de la nature de ces animaux. — En 1854 et pendant les années suivantes, l'exploration du lit de boue (*dirt-bed*) qui fait partie des couches de Purbeck a amené la rencontre de nombreux ossements qu'on a ratta-

PÉRIODES.	Thallophytes	Acrogènes	Sigillaires, Lépidodendrons	Gymnospermes	Cycadées en Europe	Angiospermes	Gamopétales	Monocotylédonées	Zoophytes	Nummulites	Graptolites	Lamellibranches, Gastéropodes	Gastéropodes pulmonés	Brachiopodes, Céphalopodes	Rudistes	Ammonites, Bélemnites	Annelés aquatiques	Trilobites	Annelés terrestres
Diluvienne	█	█		█		█	█	█	█			█	█	█			█		█
Subapennine	█	█		█		█	█	█	█			█	█	█			█		█
Mollassique	█	█		█		█	█	█	█			█	█	█			█		█
Parisienne	█	█		█		█		█	█	█		█	█	█			█		█
Suessonienne	█	█		█		█		█	█	█		█	█	█			█		█
De la craie blanche	█	█		█	█	█		█	█			█	█	█	█	█	█		█
Du grès vert	█	█		█	█	█		█	█			█	█	█	█	█	█		█
Néocomienne	█	█		█	█			█	█			█	█	█	█	█	█		█
Oolitique supérᵉ.	█	█		█	█				█			█	█	█		█	█		█
Oolitique moyenᵉ.	█	█		█	█				█			█		█		█	█		█
Oolitique inférᵉ.	█	█		█	█				█			█		█		█	█		█
Liasique	█	█		█	█				█			█		█		█	█		█
Triasique	█	█		█	█				█			█		█		█	█		█
Permienne	█	█	█	█					█			█		█			█		█
Houillère	█	█	█	█		█			█			█		█			█		█
Carbonifère	█	█	█	█					█			█		█			█	█	
Dévonienne	█	█	█	█					█			█		█			█	█	
Silurienne	█								█		█	█		█			█	█	
Cumbrienne	█								█								█	█	
Azoïque																			

Vertébrés
Poissons
Reptiles
Oiseaux
Mammifères
Poissons placoïdes
Poissons ganoïdes
Poissons téléostéens
Poissons hétérocerques
Poissons homocerques
Batraciens
Ophidiens
Chéloniens
Sauriens
Simosauriens
Icthyosauriens
Labyrinthodontes
Ptérodactyles
Didelphes
Edentés
Ruminants
Pachydermes
Proboscidiens
Insectivores
Primatès, Cheirop., Carn., Rong.
Homme

PÉRIODES.	Thallophytes	Acrogènes	Sigillaires, Lépidodendrons	Gymnospermes	Cycadées en Europe	Angiospermes	Gamopétales	Monocotylédonées	Zoophytes	Nummulites	Graptolites	Lamellibranches, Gastéropodes	Gastéropodes pulmonés	Brachiopodes, Céphalopodes	Rudistes	Ammonites, Bélemnites	Annelés aquatiques	Trilobites	Annelés terrestres
Diluvienne	▮	▮		▮		▮	▮	▮	▮			▮	▮	▮			▮		▮
Subapennine	▮	▮		▮		▮	▮	▮	▮			▮	▮	▮			▮		▮
Mollassique	▮	▮		▮		▮	▮	▮	▮			▮	▮	▮			▮		▮
Parisienne	▮	▮		▮		▮		▮	▮	▮		▮	▮	▮			▮		▮
Suessonienne	▮	▮		▮		▮		▮	▮	▮		▮	▮	▮			▮		▮
De la craie blanche	▮	▮		▮	▮	▮		▮	▮			▮	▮	▮	▮	▮	▮		▮
Du grès vert	▮	▮		▮	▮	▮		▮	▮			▮	▮	▮	▮	▮	▮		▮
Néocomienne	▮	▮		▮	▮			▮	▮			▮	▮	▮	▮	▮	▮		▮
Oolitique supére.	▮	▮		▮	▮				▮			▮	▮	▮		▮	▮		▮
Oolitique moyene.	▮	▮		▮	▮				▮			▮		▮		▮	▮		▮
Oolitique inféne.	▮	▮		▮	▮				▮			▮		▮		▮	▮		▮
Liasique	▮	▮		▮	▮				▮			▮		▮		▮	▮		▮
Triasique	▮	▮		▮	▮				▮			▮		▮		▮	▮		▮
Permienne	▮	▮	▮	▮					▮			▮		▮			▮		▮
Houillère	▮	▮	▮	▮		▮			▮			▮		▮			▮		
Carbonifère	▮	▮	▮	▮					▮			▮		▮			▮	▮	
Dévonienne	▮	▮	▮	▮					▮			▮		▮			▮	▮	
Silurienne	▮								▮		▮	▮		▮			▮	▮	
Cumbrienne	▮								▮								▮	▮	
Azoïque																			

Invertébrés
Vertébrés
Poissons
Reptiles
Oiseaux
Mammifères
Poissons placoïdes
Poissons ganoïdes
Poissons téléostéens
Poissons hétérocerques
Poissons homocerques
Batraciens
Ophidiens
Chéloniens
Sauriens
Simosauriens
Icthyosauriens
Labyrinthodontes
Ptérodactyles
Didelphes
Edentés
Ruminants
Pachydermes
Proboscidiens
Insectivores
Primatès, Cheirop., Carn., Rong.
Homme

pris une extension croissante à partir de la période miocène et atteint leur maximum de développement pendant la période jovienne. . . .

Les *rongeurs*, les *cheiroptères* ou chauves-souris, les singes ou *primatès* existaient presque dès le commencement de la période néozoïque. C'est sur un petit fragment de mâchoire inférieure et quelques molaires, découverts dans le terrain éocène du Suffolk, que M. Owen a établi le *Macacus eocenus*. Ces trois ordres n'ont pas cessé de faire partie des faunes de la période néozoïque, en prenant peu à peu une importance de plus en plus grande.

Le tableau synoptique de la page 296 présente le résumé des faits qui viennent d'être mentionnés dans ce chapitre. On y remarque deux colonnes : 1° l'une, verticale, à gauche, montrant la série des périodes géologiques ; l'autre, horizontale, où se trouvent inscrits les noms des principaux groupes d'animaux et de végétaux dont il a été question. Un trait, mené au dessous de chacun de ces groupes et mis en regard de la colonne verticale, indique pendant combien de temps il a fait partie de la faune et de la flore de notre planète. Lorsque le trait est continu, c'est l'indice que le groupe auquel il correspond n'a pas cessé, pendant un intervalle plus ou moins long, d'être représenté à la surface du globe ; dans le cas contraire, le trait offre des interruptions dénotant que le groupe auquel il se rattache, avant de prendre place d'une manière définitive dans la faune ou la flore, a fait quelques courtes apparitions ; les mammifères et les oiseaux sont dans ce cas. L'inspection de ce tableau suffit pour mettre en évidence quelques unes des lois dont le lecteur trouvera l'énoncé dans le chapitre suivant.

CHAPITRE IV.

TRANSFORMATIONS SUCCESSIVES DE LA FAUNE ET DE LA FLORE.

Période azoïque; absence probable d'êtres organisés pendant cette période. — Première apparition des plantes et des animaux; faune primordiale. — Période paléozoïque; règnes des acrogènes et des poissons. — Faune et flore des époques trilobitique et houillère. — Période mésozoïque; règnes des gymnospermes et des reptiles. — Faune et flore des époques triasique, jurassique et crétacée. — Période néozoïque; règnes des angiospermes et des mammifères. — Faune et flore des époques nummulitique et proboscidienne. — Période homozoïque; règne de l'homme.

Période azoïque; absence probable d'êtres organisés pendant cette période. — Les faits que j'ai déjà rappelés (tome III, pages 5 et suivantes) démontrent que l'élévation de la température et la composition des eaux pendant l'ère neptunienne ne s'opposaient pas nécessairement au développement des êtres organisés. On ne peut donc affirmer d'une manière absolue que la vie n'existait pas déjà presque dès le commencement de la période neptunienne; peut-être, si les animaux qui vivaient alors n'ont pas laissé de traces de leur ancienne existence, c'est que la délicatesse de leurs tissus s'opposait à leur fossilisation. Par conséquent, l'épithète d'*azoïque*, donnée à la première période de l'histoire géologique de notre planète, n'est vraie qu'autant qu'on fait accompagner son emploi d'une restriction tacite; elle indique l'absence non pas de tout être organisé pendant la période neptunienne, mais de tout fossile dans les strates correspondant à cette période.

Les progrès de la science auront pour résultats non seulement de faire remonter à une époque plus reculée l'apparition de chaque type d'animaux et de végétaux, mais aussi de rendre de plus en plus ancienne la date qui correspond à la première apparition de la vie à la surface de notre planète. Toutefois ces progrès auront une limite; sans cela, il faudrait admettre, ce qui n'existe certainement pas, que tous les types d'êtres organisés se sont montrés en même temps; il faudrait reconnaître en outre que, ce qui est peu probable, la première apparition de la vie à la surface du globe s'est effectuée dès le dépôt des plus anciens granites stratifiés qui ne renferment sûrement pas de débris de corps organisés (1).

Première apparition des êtres organisés; faune primordiale. — La plus ancienne trace d'animalisation, en Europe, a été signalée en Irlande, dans des roches offrant le même caractère minéralogique que celles qui, dans la partie septentrionale du pays de Galles, constituent la formation de Bangor et appartiennent au terrain cumbrien inférieur. Ces traces sont de petits corps que M. Morris classe parmi les bryozoaires et dont Ed. Forbes a fait le genre *Oldhamia*, comprenant actuellement au moins deux espèces : *O. radiata* et *O. antiqua;* ils se présentent sous la forme d'un axe sur lequel naissent des assemblages de rameaux en éventail. En Amérique, les premières traces d'êtres organisés paraissent remonter à une époque encore plus ancienne. En 1864, sir Lyell a annoncé à l'association britannique qu'on a découvert, dans l'Amérique du Nord, à la base de la série laurentienne, qui paraît correspondre au

(1) Les faits et les appréciations consignés dans ce chapitre et le suivant sont, en partie, empruntés au *Traité de Paléontologie* de M. Pictet, le meilleur qui ait été publié jusqu'à ce jour.

terrain azoïque de l'Europe, un calcaire renfermant des restes d'une grande espèce de rhizopode que l'on a appelée *Eozoon Canadense.*

Avant les découvertes que je viens de rappeler, on considérait le terrain cumbrien supérieur comme correspondant à la période qui a été marquée par la première manifestation de la vie à la surface de notre planète. En 1859, on connaissait, tant en Europe que dans l'Amérique septentrionale, 174 espèces appartenant à cette faune première et réparties de la manière suivante :

Mollusques ptéropodes.	7
— céphalopodes	1[2]
— brachiopodes	19
Crustacés trilobites.	122
— divers.	5
Annélides.	6
Bryozoaires.	8
Zoophytes	3
Cystidées.	4
Incertæ sedis	2
Scolithus et Cruziana.	2
Total. . .	174

On voit que cette faune est, en majeure partie, composée de trilobites; parmi les genres qu'elle comprend, douze seulement remontent plus haut. Aucune espèce, si ce n'est l'*Agnostus pisiformis*, ne passe dans la faune seconde, c'est à dire dans le terrain silurien inférieur. Quant à la flore du terrain cumbrien, elle paraît ne consister, jusqu'à présent, que dans quelques empreintes de fucoïdes.

La faune première a été le point de départ d'une suite de faunes que des découvertes successives nous montrent de plus en plus riches et de plus en plus nombreuses. Les caractères de ces faunes et de ces flores ont varié d'une époque à l'autre,

mais non d'une manière assez rapide pour que des périodes consécutives n'aient pas conservé, au point de vue organique, des caractères communs. En groupant entre elles les périodes consécutives dont la flore et la faune présentent quelques analogies, on arrive à partager l'histoire géologique du globe, lorsqu'on ne tient compte que des transformations apportées dans l'aspect des plantes et des animaux, en quatre grandes périodes. Je vais m'occuper de chacune d'elles, à l'exception toutefois de la première, dont le caractère, l'absence de tout être organisé, est négatif. Auparavant, je placerai ici quelques considérations générales sur les transformations successives de la flore.

La série végétale au point de vue géologique. — Dans la série végétale, on peut passer, sans transition trop brusque, des thallophytes les plus simples, ébauche première des formes organiques, aux acrophytes et aux végétaux dont l'organisation offre le plus haut degré de complication. Les thallophytes réduites à une ou plusieurs cellules, comme le *Protococcus*, nous conduisent d'abord aux lichens; un grand nombre de ces derniers sont assimilables, par leurs organes de végétation, aux hépatiques membraneuses qui nous font passer insensiblement aux jongermannes, aux mousses, puis aux cryptogames arborescentes, telles que les diverses espèces de fougères de l'époque actuelle et des temps géologiques. La flore de la période paléozoïque présente diverses formes végétales intermédiaires par leur organisation entre les cryptogames et les conifères. Il en résulte un passage insensible entre les cryptogames et les gymnospermes qui, par les conifères et les cycadées, ouvrent la série des dicotylédonées. La chaîne ne se trouve pas ainsi interrompue et se continue même sans lacune, car on peut,

par les amentacées (arbres à chaton, bouleau, saule, noyer) arriver sans peine aux apétales, aux polypétales et, enfin, aux monopétales, que l'on place ordinairement en tête de la série végétale. Cette série, dont je viens d'indiquer rapidement les principaux termes, présenterait une régularité parfaite si on ne se croyait obligé d'y intercaler les monocotylédonées et de les placer avant les dicotylédonées comme leur étant inférieures. Selon nous, elles leur sont parallèles sous tous les rapports, et il est dès lors permis, selon les convenances de celui qui veut tracer une série végétale, de les placer avant ou après elles. Je crois devoir entrer à ce sujet dans quelques détails.

« Si l'on ne considère que les organes de la reproduction, » dit A. de Jussieu, « il est difficile de reconnaître l'infériorité des monocotylédonées relativement aux dicotylédonées, et même on ne trouve pas parmi elles d'exemples de fleurs réduites au degré de simplicité de celle des gymnospermes. Sous ce rapport, le nom d'embranchements convient donc bien à ces deux grandes divisions des cotylédonées, puisque ce sont deux branches s'élevant concurremment plutôt que deux portions d'une seule et même ligne continue. C'est en ayant égard aux organes de la végétation qu'on a généralement assigné cette place inférieure aux monocotylédonées. » Or, il me semble que, même sous le rapport des organes de la végétation, les monocotylédonées peuvent entrer en parallèle avec les dicotylédonées. Je vois une égale complication dans la structure intime des unes et des autres. La plantule des monocotylédonées paraît un peu plus simple parce qu'elle n'offre qu'un cotylédon; mais ce fait est plutôt le résultat de l'organisation même des monocotylédonées chez lesquelles les feuilles sont alternes. Il serait plus exact de dire que les cotylédons sont alternes chez les monocotylédonées et opposés chez les

dicotylédonées ; or, dans ce fait, on ne peut voir un signe d'infériorité ou de supériorité. La disposition cotylédonaire n'a pas en classification une valeur absolue; son emploi n'est pas indispensable et nous le voyons abandonné dans les classifications récentes. Mais pour mieux démontrer que, même sous le rapport des organes de la végétation, les monocotylédonées ne le cèdent pas aux dicotylédonées, rappelons-nous les formes gigantesques qu'atteignent les bambous parmi les graminées et les bananiers dans la famille des musacées. Le chaume lisse et souvent incliné des graminées tropicales, dit Humboldt, surpasse en hauteur nos chênes et nos aulnes. L'illustre auteur du *Cosmos*, chez qui le sentiment de la nature était si profond, ne dit-il pas du palmier qu'il est « la plus élevée et la plus noble de toutes les formes végétales. »

L'ordre dans lequel on doit ranger les principaux groupes de végétaux coïncide avec celui de leur apparition à la surface du globe. Trois d'entre eux ont, chacun à leur tour, joué un rôle prépondérant et imprimé un caractère spécial à la flore de notre planète; ces trois groupes sont les cryptogames, les gymnospermes et les angiospermes. Les monocotylédonées seules n'ont pas eu leur règne pendant les temps géologiques. Dans les flores anciennes, elles ont eu des représentants, mais le nombre de ces derniers a toujours été très restreint. Si l'on a égard à cette circonstance que le nombre des espèces de monocotylédonées a été sans cesse en croissant, et si l'on tient compte, en outre, de la place hors de série que nous avons accordée à ce groupe dans la chaîne végétale, n'est-on pas malgré soi conduit à penser que les monocotylédonées attendent leur tour? Peut-être une des flores destinées à succéder à celle dont nous sommes les contemporains sera-t-elle en majeure partie composée de végétaux appartenant à ce groupe?

RÈGNES DES ACROGÈNES ET DES POISSONS.

(PÉRIODE PALÉOZOÏQUE.)

Flore de la période paléozoïque. — Le « règne des acrogènes » commence avec la première apparition des végétaux terrestres et finit avec le dépôt des dernières strates permiennes. D'après cela, il correspond à la période paléozoïque; toutefois, le terrain cumbrien n'a fourni jusqu'à présent aucun témoignage direct de l'existence de végétaux terrestres pendant qu'il se déposait. En rattachant la période cumbrienne au « règne des acrogènes, » on escompte en quelque sorte de futures découvertes qui démontreront sans doute que des cryptogames arborescentes croissaient déjà, pendant cette période, à la surface du globe. Il est naturel de penser que, si la flore cumbrienne nous était connue, elle se présenterait à nous avec les mêmes caractères que la flore paléozoïque tout entière.

Pendant la période paléozoïque, la flore était d'une grande pauvreté. En 1849, M. Ad. Brongniart, en faisant l'énumération des espèces appartenant à cette période, en comptait 500 seulement. Des découvertes postérieures au travail de M. Ad. Brongniart ont accru et accroîtront encore ce nombre, mais elles ne le rendront jamais assez grand pour nous permettre de penser que la flore paléozoïque était aussi riche que la flore actuelle. Les botanistes portent à 6000 le nombre des espèces phanérogames croissant aujourd'hui en Europe. Sans doute, toutes les plantes de la période paléozoïque n'ont pas laissé de traces de leur existence et ne pourront être inscrites dans nos catalogues; mais il faut observer que l'énumération faite par M. Ad. Brongniart comprend des plantes de plusieurs pays et de plusieurs époques dont chacune a duré plus longtemps que l'époque actuelle.

Non seulement les espèces dont se composait la flore paléozoïque étaient très peu nombreuses, mais, en outre, les types auxquels elles se rapportaient offraient peu de variété. Cette uniformité se retrouvait dans leur distribution géographique; les mêmes espèces, ou du moins des espèces voisines, croissaient en même temps dans le sud de l'Europe et au Spitzberg, où régnaient comme aujourd'hui des nuits de deux mois.

Parmi les autres caractères de la flore paléozoïque, je signalerai : l'absence complète des dicotylédonées angiospermes; — l'absence presque complète des monocotylédonées; — l'abondance des conifères; — la prédominance des cryptogames acrogènes et surtout des fougères; l'abondance des fougères était en relation avec la constitution topographique et le climat de la période paléozoïque; — la forme arborescente des cryptogames; — le développement des végétaux à racine stigmariée; — l'existence de formes anormales, telles que les astérophyllites, les annularias, les sigillaires, etc. Quant aux formes les plus remarquables de la flore paléozoïque, je les ai déjà décrites dans un des chapitres précédents. (Voir pages 176 et suivantes.)

Faune de la période paléozoïque. — La période paléozoïque a vu le « règne des poissons. » Pourtant, le témoignage le plus ancien de l'existence de ces animaux ne remonte pas plus haut qu'à l'époque du dépôt du terrain silurien. En faisant commencer le « règne des poissons » avec la période paléozoïque, je m'appuie sur les mêmes motifs que je viens d'invoquer pour m'autoriser à considérer cette période comme ayant été le « règne des acrogènes. » Ce que l'on sait sur le mode de répartition des animaux pendant les temps anciens et sur l'aspect général de la surface du globe lors de la période

cambrienne nous paraît permettre de supposer que les vertébrés, s'ils ont vécu pendant cette période, appartenaient surtout à la classe des poissons.

La faune paléozoïque a pour caractères principaux : l'absence complète des mammifères et des oiseaux ; — la rareté des reptiles ; — la prédominance des poissons ; — l'existence d'animaux à forme tout à fait anormale, tels que les trilobites, les graptolites, les céphalaspis et les ganoïdes cuirassés, etc. Les poissons téléostéens et les poissons homocerques manquent encore d'une manière absolue ; tous appartiennent aux ordres des placoïdes et des ganoïdes.

Période trilobitique.

Cette période, qui comprend les quatre systèmes cambrien, silurien, dévonien et carbonifère, a reçu avec juste raison l'épithète de *trilobitique*. Les premiers *Trilobites*, en effet, se trouvent dans les plus anciennes strates fossilifères ; les derniers se rencontrent dans le terrain carbonifère. Depuis leur apparition jusqu'à leur anéantissement, ils n'ont pas cessé d'être représentés à la surface du globe. Les trilobites vivaient en troupes nombreuses ; c'étaient des crustacés à forme anormale, quelquefois susceptibles de s'enrouler en boule ; on n'est pas encore parvenu à trouver chez eux des traces de pattes, ce qui porte à croire que ces appendices étaient membraneux, comme chez les apus, et servaient tout à la fois d'organes de respiration et de locomotion.

Les poissons présentaient des formes spéciales et caractéristiques ; ils constituaient un ensemble assez nombreux et formaient un des traits les plus remarquables de la faune trilobitique. La famille des céphalaspides, qui, avec l'esturgeon,

fait partie des ganoïdes cuirassés, était spéciale à cette période; elle comprenait des poissons à queue nulle ou hétérocerques, et dont la tête et la partie antérieure du corps étaient couvertes de plaques osseuses qui constituaient quelquefois une carapace compliquée et bizarre; la forme de ces poissons était tellement anormale que les premiers débris que l'on en a connus ont fort embarrassé les naturalistes; quelques uns de ces débris ont été décrits comme se rapportant à la famille des trilobites et d'autres à la classe des insectes.

Les céphalopodes et les brachiopodes étaient bien plus nombreux et plus caractéristiques que les gastéropodes et les lamellibranches. La coquille des céphalopodes était toujours à cloisons simples. Dans la classe des échinodermes, les échinides et les stellérides étaient à peine représentés, tandis que les crinoïdes offraient des genres très nombreux et en grande partie caractéristiques. Citons enfin le type des *Graptolites* qui est spécial à la période silurienne.

Quant à la flore de la période trilobitique, le tableau ci-joint (1) nous fait voir comment, d'abord exclusivement marine, elle est peu à peu devenue terrestre. Ce tableau, où le nombre des espèces actuellement connues se trouve mentionné, deviendra plus complet à mesure que nos connaissances en botanique fossile seront plus étendues, mais le fait principal qu'il met en évidence n'en persistera pas moins.

(1) PÉRIODES.	Algues.	Pl. terrestres.	Total.	
Houillère	6	494	500	(Brongniart).
Carbonifère	1	84	85	(Gœppert).
Dévonienne supérieure .	4	51	55	
Dévonienne inférieure. .	5	2	7	
Silurienne supérieure . .	3	0	3	
Silurienne inférieure. . .	17	0	17	

Période psammitique.

Ce qui, au point de vue de la faune, distingue essentiellement cette période de la période immédiatement antérieure, c'est l'absence des trilobites. Les autres changements introduits dans la flore et la faune après la période trilobitique paraissent être surtout en relation avec les modifications subies par la constitution topographique du globe et par les conditions biologiques. Pendant la période psammitique, la température s'est abaissée, le climat est devenu pluvieux et de vastes continents ont occupé l'emplacement des mers préexistantes.

Les reptiles, représentés dans le terrain trilobitique par le seul *Telerpeton Elginense*, deviennent plus nombreux; les uns appartiennent à l'ordre des sauriens, les autres au groupe des labyrinthodontes. Les poissons sont moins abondants; ils montrent un type presque spécial, le genre *Palæoniscus*, qui apparaît avec l'époque houillère et ne compte dans le trias qu'une seule espèce. Les mollusques sont également moins nombreux que pendant la période trilobitique; mais ils conservent leurs proportions relatives et rappellent encore par leurs traits principaux les faunes précédentes. Les céphalopodes et les brachiopodes sont toujours plus répandus que les gastéropodes et les lamellibranches. Les échinodermes continuent à être surtout représentés par les crinoïdes.

La flore terrestre qui, depuis le commencement de la période silurienne, s'était développée d'une manière lente et graduelle, prend tout à coup une grande extension pendant la période houillère, ainsi que l'on en peut juger par le tableau précédent. Mais son extension subite ne coïncide nullement avec une modification dans ses caractères essentiels. « En effet, dit M. Ad. Brongniart, pendant toute la période comprise entre la pre-

mière apparition des végétaux terrestres et le dépôt du terrain houiller inclusivement, il n'y a aucune différence importante entre les formes végétales : ce sont les mêmes familles, les mêmes genres et souvent les mêmes espèces; et, dans l'état actuel de nos connaissances sur ce sujet, une flore des végétaux du terrain de transition ne différerait pas plus de celle d'un vrai terrain houiller que ne diffèrent entre elles les flores de couches diverses d'un même bassin houiller ou celles de divers bassins houillers très rapprochés. Cette végétation de la grande période carbonifère et houillère (1) disparaît presque complétement avec elle; la période permienne qui lui succède n'en présente qu'une sorte de résidu déjà privé de la plupart de ses genres les plus caractéristiques; et, pendant la période du grès bigarré, nous n'en trouvons aucune trace. » D'après ce qui précède, si l'on ne consultait que les indications fournies par la flore, l'époque houillère devrait être réunie à l'époque carbonifère et, par suite, à la période trilobitique.

J'ai indiqué quels étaient les caractères communs à la flore de la période houillère et à celle de la période permienne. Ce qui les distingue surtout l'une de l'autre, c'est la disparition des sigillaires pendant la période permienne; les végétaux à racine stigmariée ne consistaient plus, pendant cette période, qu'en quelques rares lépidodendrons.

(1) M. Ad. Brongniart fait à propos de cette végétation la remarque suivante que je reproduis parce qu'elle vient à l'appui de la théorie que j'ai exposée pour expliquer la formation de la houille. « La formation houillère est évidemment une formation terrestre et d'eau douce : les couches de charbon qu'elle renferme sont le résultat de l'accumulation sur place de restes de végétaux qui couvraient le sol à la manière des couches de tourbe ou du terreau des grandes forêts; ce n'est que dans certaines circonstances exceptionnelles que ces couches alternent avec des couches contenant des débris d'animaux marins, et peuvent être considérées comme résultant du transport dans la mer des végétaux terrestres qui s'y trouvent. »

RÈGNES DES GYMNOSPERMES ET DES REPTILES.

(PÉRIODE MÉSOZOÏQUE.)

Flore de la période mésozoïque. — Ces règnes correspondent exactement à la période mésozoïque. M. Ad. Brongniart, il est vrai, rattache la série crétacée au « règne des angiospermes, » tout en la considérant comme une période de transition. Si l'on adoptait cette manière de voir, l'accord remarquable qui existe entre la division des temps géologiques en grandes périodes et l'ordre dans lequel les transformations des faunes et des flores se sont opérées, serait rompu en ce qui concerne la période crétacée. Mais il est permis de ne pas se rallier à l'opinion émise par M. Ad. Brongniart, puisque, pendant la période crétacée, les gymnospermes ont continué à prédominer, tandis que les angiospermes étaient encore très rares.

Les principaux caractères de la flore de la période mésozoïque étaient : la prédominance des conifères ; — l'abondance des cycadées, famille spéciale à cette période, du moins en Europe ; — la persistance des fougères ; — la rareté des angiospermes qui n'ont commencé à paraître que pendant la période crétacée.

Faune de la période mésozoïque. — La période mésozoïque est bien le « règne des reptiles. » Tandis que les autres classes de vertébrés, à l'exception des poissons, n'étaient pas ou étaient à peine représentées, les reptiles se montraient excessivement nombreux en individus et en espèces. — Quelques uns atteignaient une taille colossale ; ils avaient pour la plupart un régime carnivore et exerçaient sur les autres animaux une domination comparable à celle des mammifères pendant la

période néozoïque et de l'homme pendant la période actuelle. Enfin, ces nombreuses espèces répandues sur toute la surface du globe offraient une telle variété dans leur organisation, que les unes ou les autres s'adaptaient à tous les milieux où peuvent vivre les animaux. Les ptérodactyles, organisés pour le vol, peuplaient l'atmosphère; la grandeur de leurs yeux permet de supposer qu'ils étaient nocturnes comme nos chauves-souris actuelles; leurs pieds postérieurs étaient assez forts pour qu'ils aient pu, comme les oiseaux, se percher sur les arbres, tandis que leurs griffes et les doigts courts de leurs mains les mettaient à même de grimper le long des rochers. Les simosaures, pendant la période triasique, et, plus tard, les plésiosaures et les ichthyosaures, tous organisés pour vivre dans les eaux, habitaient dans les estuaires et le long des côtes. Enfin, les continents avaient aussi leur population de reptiles.

Ce qui achevait de donner une grande importance à cette faune des reptiles de la période mésozoïque, c'était la tendance qu'avaient quelques uns d'entre eux à se rapprocher du type des mammifères : l'observation d'un petit ichthyosaure contenu dans un grand pourrait faire supposer que cet animal était vivipare; le squelette des dinosauriens se rapprochait sous certains rapports de celui des mammifères.

En rappelant le rôle important joué par les reptiles dans la faune mésozoïque, j'ai dit quel était le principal caractère de cette faune. Elle présente un autre trait caractéristique d'une grande valeur, résultant de l'existence des ammonites et des bélemnites; aussi la série secondaire a-t-elle été désignée, dans quelques classifications, sous le nom de « terrain ammonéen.» La faune de la période paléozoïque offrait aussi un caractère négatif d'une grande importance; c'était l'absence complète ou presque complète des mammifères et des oiseaux.

Période triasique.

Le caractère essentiel de la faune et de la flore du trias résulte surtout de la présence simultanée des types paléozoïques qui se montrent pour la dernière fois et des types mésozoïques qui font leur première apparition. Cette faune et cette flore établissent au point de vue paléontologique une transition insensible entre les deux périodes paléozoïque et mésozoïque qui sans cela n'offriraient aucun caractère commun.

Les fougères sont encore très abondantes; il en est de même des calamites, destinées à disparaître avant le commencement de la période jurassique. Les conifères sont surtout représentés par les genres *Voltzia* et *Haidingera* succédant au genre *Walchia*. Les cycadées, qui se montreront si nombreuses pendant la période suivante, font leur première apparition.

En traçant le tableau de la faune triasique, mentionnons d'abord, comme en faisant partie, le *Microlestes antiquus*, espèce prophétique pour les mammifères. Les reptiles deviennent abondants; les labyrinthodontes se montrent surtout très nombreux, et sont presque spéciaux à la période triasitique (*antè*, page 291); on s'accorde maintenant à voir, dans les empreintes dont on a fait le genre *Cheirotherium*, des traces de pas dues à des labyrinthodontes. Presque tous les poissons se rattachent encore aux types paléozoïques; presque tous les crustacés appartiennent, au contraire, à l'ordre des décapodes géologiquement le moins ancien. Certaines formes génériques de mollusques sont encore paléozoïques; on les rencontre surtout dans la partie inférieure du trias, c'est à dire dans le grès bigarré et le muschelkalk; d'autres, telles que les ammonites et les bélemnites, sont entièrement mésozoïques;

elles appartiennent à la partie supérieure du trias, c'est à dire aux marnes irisées et aux couches de Saint Cassian. Les brachiopodes commencent à perdre de leur importance, et les échinodermes continuent à être surtout représentés par des crinoïdes.

Période jurassique.

La période jurassique, considérée dans sa faune et sa flore, possède au plus haut degré les caractères que nous avons indiqués comme étant inhérents à la période mésozoïque : elle ne présente plus aucun des types de la période paléozoïque, et ne possède pas encore ceux de la période néozoïque.

Si nous essayons de résumer les faits les plus importants que l'examen de la faune jurassique conduit à mentionner nous rappellerons : la rareté des mammifères qui font deux courtes apparitions; — l'absence presque complète des oiseaux; — l'existence d'un grand nombre de genres de reptiles spéciaux et le développement de cette classe arrivé à son maximum; — le manque presque complet de poissons ganoïdes hétérocerques et leur remplacement par des poissons homocerques dont aucun n'a vécu pendant les époques antérieures; — l'absence complète des poissons téléostéens; — l'excessive abondance des individus et des espèces appartenant aux groupes des bélemnites et des ammonites.

Dans l'état actuel de nos connaissances, la période jurassique doit, selon nous, se diviser en quatre grandes époques qui sont celles du lias, de l'oolite inférieure, de l'oolite moyenne et de l'oolite supérieure. C'est pendant la période du lias qu'ont eu lieu la dernière apparition des labyrinthodontes (avec le genre *Rhinosaurus*), et la première appari-

tion des ptérodactyles (avec le genre *Rhamphorhynchus*), des énaliosauriens (avec les genres *Ichthyosaurus* et *Plesiosaurus* qui atteignent alors leur maximun de développement). Les poissons ganoïdes s'arrêtent subitement et sont remplacés par des homocerques.. — Les reptiles et les poissons de la période oolitique inférieure appartiennent aux mêmes types que ceux du lias, mais on remarque que leurs débris sont moins abondants dans les strates. Les bryozoaires sont très répandus, ainsi que les crinoïdes qui, sur un grand nombre de points, recouvrent le fond de la mer et donnent origine, par l'accumulation de leurs débris, à des couches entières. — Pendant la période de l'oolite moyenne se montre, pour disparaître pendant la période suivante, le genre *Pliosaurus*, intermédiaire entre les ichthyosaures et les plésiosaures. La faune de cette période est la plus remarquable de l'époque jurassique, ce qui, dit M. Pictet, tient probablement aux circonstances favorables de conservation plutôt qu'à une abondance relative plus grande. Les polypiers acquièrent une grande extension et édifient de vastes récifs. — La faune marine de l'oolite supérieure présente peu de faits saillants à signaler; les types de la période jurassique s'éteignent peu à peu. Les tortues des genres *Emys* et *Chelone* se montrent pour la première fois. L'étendue sans cesse croissante occupée par les lacs amène le développement des êtres organisés habitant les eaux douces et notamment des *Cypris* si répandus, en Angleterre, dans la formation de Purbeck.

Période crétacée.

Pendant la période crétacée, la faune et la flore, tout en conservant dans leur ensemble l'aspect des types mésozoïques,

offrent déjà quelques formes qui annoncent l'approche de la période néozoïque.

Les principaux caractères, qui servent à distinguer la faune de la période crétacée, sont : l'absence complète des mammifères et des oiseaux, circonstance qui rapproche cette période de la période jurassique pour l'éloigner de la période néozoïque ; — le grand développement de la classe des reptiles, qui présente encore, mais pour la dernière fois, les types remarquables qui ont servi à établir les ordres des dinosauriens, ptérodactyliens et énaliosauriens ; — l'apparition et l'abondance des poissons téléostéens et même d'un certain nombre de genres actuellement vivants. Cette circonstance fournit un résultat inverse des précédents, en rapprochant la période crétacée de la période néozoïque pour l'éloigner de la période jurassique ; — la continuation de la famille des ammonitides, représentée par un grand nombre de formes diverses, dont plusieurs spéciales, telles que les genres *Hamites, Scaphites, Baculites, Crioceras*. Cette abondance est d'autant plus remarquable qu'aucun représentant de la famille ne passe à la période néozoïque ; — la tendance des autres classes de mollusques à ressembler de plus en plus à celles de la période tertiaire et de la période actuelle ; — l'existence du type remarquable des rudistes, tout à fait spécial à la période crétacée.

L'existence, pendant la période crétacée, des palmiers et des angiospermes de la famille des amentacées établit une distinction entre la flore de cette période et celle de la période jurassique.

Dans notre classification, la période crétacée se compose de trois époques : l'époque néocomienne, celle du grès vert et celle de la craie blanche. Pendant cette dernière, la plus récente des trois, les genres *Pterodactylus, Ichthyosaurus* et *Plesiosaurus*, ainsi que les familles des ammonites et des bélemnites

se montrent pour la dernière fois; leurs dernières espèces sont *Baculites Faujasii* dans la craie de Faxoé, *Ammonites Pailletteanus*, et *Belemnitella mucronata* dans l'étage sénonien; la dernière bélemnite proprement dite, *Belemnites ultimus*, a été trouvée dans l'étage cénomanien de Rouen. Parmi les genres de reptiles spéciaux à la période crétacée, je citerai le genre *Mosasaurus*, saurien marin qui paraît avoir eu sept mètres de longueur. Le genre *Iguanodon*, saurien herbivore dont la longueur était de 15 à 18 mètres, a laissé ses débris en Angleterre, dans la formation wealdienne, intermédiaire entre les terrains jurassique et crétacé.

RÈGNES DES ANGIOSPERMES ET DES MAMMIFÈRES.
(PÉRIODE NÉOZOÏQUE.)

Flore de la période néozoïque. — La flore de la période néozoïque est surtout caractérisée par l'abondance des angiospermes et l'existence des monocotylédonées qui, jusqu'alors, n'avaient que des représentants douteux. Ce qui distingue cette flore de celle de l'ère jovienne, c'est l'absence des familles les plus nombreuses et les plus caractéristiques de gamopétales.

Faune de la période néozoïque. — Le « règne des angiospermes » et celui « des mammifères » correspondent à la période néozoïque. Les reptiles, dont les espèces sont devenues bien moins nombreuses, moins variées de forme et surtout moins parfaites que pendant la période mésozoïque, cèdent aux mammifères la majeure partie du domaine qu'ils occupaient d'abord. Ceux-ci, nous l'avons vu, avaient été en quelque sorte annoncés par plusieurs espèces prophétiques qui s'étaient montrées à de rares moments. Dès le commencement de la période néozoïque, ils prennent une extension sans cesse crois-

sante; en même temps, leurs nombreuses espèces, grâce à leur variété d'organisation, s'adaptent les unes ou les autres aux divers milieux où la vie peut se développer. Les chauves-souris succèdent dans les airs aux ptérodactyles; dans les eaux de l'océan, les plésiosaures et les ichthyosaures sont remplacés par les mammifères thalassothériens, tels que les phoques, les dauphins et les baleines; sur le sol émergé, les mammifères se montrent encore plus nombreux que les reptiles l'avaient été jadis.

On vient de voir que l'existence des mammifères forme le caractère le plus important de la faune néozoïque; leurs genres et leurs espèces varient d'une époque à l'autre d'une manière assez nette pour que leurs débris puissent être employés à la détermination de l'âge des terrains. Les oiseaux deviennent alors, en même temps que les mammifères, des habitants de notre planète.

Les formes des animaux tendent à se rapprocher de plus en plus des formes actuelles. Un grand nombre de genres vivants de reptiles et de poissons se trouvent représentés dans tous les étages tertiaires, tandis que les types remarquables des époques précédentes ont disparu; les ichthyosaures et les plésiosaures n'existent plus; les ganoïdes sont devenus presque aussi rares que de nos jours et les téléostéens forment comme aujourd'hui la grande majorité des faunes ichthyologiques. Les bélemnitides et les ammonitides, qui ont duré abondantes et variées jusqu'à la fin de l'époque crétacée, disparaissent subitement et n'ont aucun représentant dans le terrain tertiaire. L'homme ne se montre pas encore à la surface du globe.

Période nummulitique.

Deux caractères, l'un positif, l'autre négatif, distinguent parfaitement entre elles la faune de la période nummulitique et celle de la période proboscidienne : c'est, pendant la période nummulitique, l'absence des proboscidiens et l'existence des nummulites. Les faunes de ces deux périodes offrent d'ailleurs de nombreux rapports.

D'après M. P. Gervais, on retrouve en France les restes d'au moins sept populations de mammifères, toutes distinctes les unes des autres. Trois de ces populations ont vécu pendant la période nummulitique ; ce sont celles 1° des sables du Soissonnais ; 2° du calcaire grossier de Paris ; 3° du gypse de Montmartre. Les débris recueillis dans les dépôts correspondant à l'époque des sables du Soissonnais n'ont permis de reconstituer avec certitude que les trois genres *Coryphodon*, *Palæonictis* et *Arctocyon*, représentés le premier par deux espèces et chacun des deux autres par une seule. La population mastozoïque qui a occupé le sol de la France pendant l'époque du calcaire grossier est surtout caractérisée par des *Lophiodon*, pachydermes voisins des *Coryphodon* et des tapirs. La population de l'époque du gypse de Montmartre est surtout riche en *Palæotherium*, pachydermes de l'ordre des jumentés.

Les mammifères carnassiers étaient peu abondants et d'une taille médiocre pendant la période nummulitique. La nombreuse population des mammifères herbivores était moins inquiétée par les grands animaux destructeurs, que ne devait l'être celle de la période suivante. Cette population se composait presque exclusivement de pachydermes, dont un assez grand nombre de genres, tels que les *Coryphodon*, *Lophiodon*, *Palæotherium*, *Anoplotherium*, sont spéciaux à la période

nummulitique. Les primatès, les cheiroptères, les insectivores, les rongeurs, les édentés, n'existaient pas encore ou étaient à peine représentés.

Parmi les caractères de la flore nummulitique citons : la disparition des cycadées, du moins en Europe ; — la persistance des conifères, appartenant à des genres des régions tempérées et non tropicales ; — l'abondance des palmiers ; — la première apparition des plantes à fleurs très apparentes (légumineuses, malvacées) ; — l'importance de plus en plus grande prise par les angiospermes. Toutefois, ces dernières appartiennent encore, pour la plupart, aux espèces à feuilles persistantes. D'après M. G. de Saporta, qui a étudié avec s la flore du gypse d'Aix, les végétaux à feuilles caduques n. jouaient qu'un rôle très secondaire dans la flore éocène : ils étaient distribués en individus isolés et de petite taille ; c'étaient plutôt des arbustes que des arbres véritables. M. G. de Saporta pense, en outre, que la chute des feuilles, dans ces espèces, loin d'entraîner l'existence d'une saison froide, est un phénomène très conciliable avec la température élevée que justifie la profusion des formes tropicales pendant la période miocène. Parmi les familles d'angiospermes à feuilles persistantes, celle des protéacées était une des plus répandues. Les protéacées, qui, pendant la période pliocène, ont persisté en Europe, n'y existent plus aujourd'hui ; elles sont abondamment représentées dans l'hémisphère austral en Amérique, mais surtout au Cap e dans l'Australie, où elles forment un des traits caractéristiques de la végétation. Ce sont des arbres de taille médiocre ou d arbrisseaux à feuilles toujours vertes, à fleurs apétales avec calice coriace et coloré.

Période proboscidienne.

Deux populations de mammifères, dit M. P. Gervais, ont successivement habité la surface du globe pendant la période proboscidienne : celle de l'époque miocène et celle de l'époque pliocène. Après l'extinction de la faune paléothérienne, l'Europe a reçu de nouveaux hôtes encore plus nombreux que ceux qui l'avaient peuplée précédemment. Par l'étude des débris osseux qu'ils ont laissés dans le sol, on reconnaît des proboscidiens des genres *Mastodon* et *Dinotherium*, des rhinocéros de plusieurs espèces et d'autres ongulés. Plusieurs ruminants et divers pachydermes de la période miocène appartiennent à des genres encore existants, et presque tous les pachydermes omnivores des mêmes formations sont intermédiaires, par leur organisation, aux ruminants proprement dits et aux pachydermes actuels des genres *Sus* et *Hippopotamus*; tel est le genre *Anthracotherium*. Quant aux carnivores de cette période, ils rentrent principalement dans les familles des mustelidés et des viverridés ; il y avait avec eux quelques animaux comparables aux *Felis*, mais aucune espèce de véritable ours n'existait encore. Parmi les mammifères marins de cette période, on remarque surtout des cétacés proprement dits, ordre qui ne s'était pas encore montré, et certains sirénides du genre *Halitherium*.

Pendant la période proboscidienne, on voit la taille et le nombre des carnassiers augmenter peu à peu ; mais ces animaux conservent encore en général un régime moins exclusivement carnivore que les grands carnassiers actuels; les genres qui, de nos jours, sont les plus redoutables, ne commencent à paraître que vers la fin de cette période. Les mammifères herbivores appartiennent surtout à l'ordre des rumi-

nants qui manquait d'une manière à peu près complète pendant la période nummulitique; les plus anciennes espèces du genre *Cervus* datent à peine de la période miocène. Les proboscidiens sont spéciaux à cette période et à la période homozoïque, mais, des deux genres dont cet ordre se compose, un seul existe pendant la période proboscidienne : c'est le genre *Mastodon*.

La flore de la période proboscidienne ne possédait plus de palmiers, du moins en Europe. Les gamopétales étaient encore peu abondantes. Les familles les plus nombreuses en espèces étaient, parmi les dicotylédonées, les amentacées et particulièrement les cupulifères, les acérinées, les protéacées, les laurinées et les légumineuses. En somme, dit le savant professeur O. Heer, de Zurich, la nature et la proportion des familles, ainsi que la comparaison détaillée des espèces avec leurs analogues vivantes, constatent pour l'ensemble de la végétation miocène européenne beaucoup de ressemblance avec la flore actuelle du midi des Etats Unis, du Mexique et du Japon, modifiée par la présence de formes actuelles de la région de la Méditerranée, des régions intertropicales les plus chaudes, et même de l'Australie et du Cap. Ce mélange est pourtant un peu plus apparent que réel. Il provient, en partie, de la très longue durée des formations tertiaires, même en Europe, où elles ont été précédées et suivies par des événements qui les ont séparées plus nettement des formations subséquentes que dans d'autres régions du globe. Si l'on considère l'ensemble des couches tertiaires d'Europe, les végétaux analogues à ceux d'Australie et des régions équatoriales vivaient surtout dans les plus anciennes couches, celles dites *éocènes*, dont on possède des fossiles de Bolca, de Provence et des îles de Wight et Sheppey en Angleterre. Là se trouvent des palmiers, beaucoup

de figuiers, de protéacées, et, en Provence, un groupe curieux de grandes monocotylédones voisines des restiacées de la Nouvelle Hollande, que M. de Saporta nomme rhizocaulées. Les cycadées et les formes analogues, qui existaient à l'époque crétacée et qui vivent encore aujourd'hui au Cap et en Australie, manquent ou du moins n'ont pas été retrouvées jusqu'à présent. Vers le milieu des formations éocènes, les formes des régions chaudes et humides comme les ficus, les laurinées et certaines légumineuses, luttent avec les formes australiennes. Les types actuels de l'Amérique septentrionale ou du Japon sont encore faiblement représentés. Ce caractère tropical de la végétation continue pendant la période du *miocène inférieur*, mais en passant au *miocène moyen* les formes du nord de l'Amérique, telles que les saules, bouleaux, érables, aulnes, liquidambars, deviennent abondantes. Dans le *miocène* supérieur, les formes américaines sont encore plus nombreuses et il s'est introduit des formes actuellement représentées dans la région méditerranéenne et dans les îles de Madère, Açores ou Canaries. Dans la flore *pliocène,* superposée au miocène, qu'on a étudiée surtout en Italie, les types tropicaux ont disparu pour faire place à des formes de régions tempérées, en conservant toujours le caractère américain, et sans offrir jamais une espèce qu'on puisse prouver identique avec une espèce actuellement vivante. Enfin, après le soulèvement, peut être très lent, qui a élevé les Alpes et le Caucase à leur hauteur actuelle, et qui a donné au continent européen la plupart de ses conditions d'aujourd'hui, on trouve dans les plus anciens dépôts quaternaires, comme les tufs de Massa, notre végétation actuelle avec fort peu de différence, c'est à dire beaucoup d'espèces vivant en Europe, comme le lierre, le hêtre, l'arbre de Judée, etc., avec des espèces éteintes, de nature américaine.

RÈGNE DE L'HOMME.

(PÉRIODE HOMOZOÏQUE.)

Règne de l'homme. — L'homme étant un mammifère et les angiospermes formant encore le caractère essentiel de la flore actuelle, l'ère jovienne devrait être considérée comme se rattachant aux « règnes des angiospermes et des mammifères. » Si l'ère jovienne forme une période à part, ce n'est pas qu'elle ait été marquée par l'apparition de types nouveaux parmi les êtres organisés. Les ossements de l'homme et les débris de son industrie qui ont été enfouis dans les dépôts correspondant à l'ère jovienne ou qui le seront dans les dépôts destinés à se constituer dans les temps à venir, caractériseront tous ces dépôts au même titre que les fossiles caractérisent les terrains qui les renferment. Mais, si l'on doit considérer la période jovienne comme étant le « règne de l'homme, » c'est à cause de l'influence prépondérante qu'il exerce autour de lui, sur la nature vivante comme sur la nature inanimée : sa création a marqué l'apparition d'une nouvelle force intervenant avec une énergie sans cesse croissante dans toutes les choses qui s'accomplissent à la surface du globe.

L'homme détruit peu à peu et sans relâche tous les êtres organisés, plantes et animaux, qui lui sont nuisibles ou même seulement inutiles; pour les besoins de son alimentation et la satisfaction de son goût pour la chasse, il poursuit sans pitié les animaux qui habitent avec lui la surface du globe; on peut facilement comprendre que cette poursuite obstinée a pour conséquence de hâter la destruction des espèces actuellement existantes; il remplit en quelque sorte le rôle qui était jadis dévolu aux grands reptiles de la période mésozoïque.

Evidemment, sa présence rend impossible le développement des êtres qui pourraient être nouvellement créés; il y a pour ainsi dire incompatibilité entre son existence et le fonctionnement du pouvoir créateur. Mais l'homme favorise, dans une large mesure, la propagation des plantes et des animaux qui lui sont utiles : il détermine aussi l'apparition de races nouvelles, ou, comme le disait Lamarck, de « commencements d'espèces, » et, si la théorie de Darwin était fondée, il serait même en possession de la puissance créatrice (*antè*, page 266). Son intelligence lui permet de se transporter partout, comme les reptiles le faisaient jadis grâce à leur variété d'organisation; il habite de préférence le sol émergé, mais il sait aussi s'élever dans les airs, pénétrer dans les mines profondes, sillonner les mers dans tous les sens. Enfin, la nature inorganique ne peut pas se dérober complétement à son action; les phénomènes qui ont leur siége dans les profondeurs de l'écorce terrestre se dérobent seuls à son influence; mais par les déboisements il peut modifier l'aspect du sol et les climats; certains phénomènes prennent par suite de son intervention un cours différent; les deltas acquièrent un accroissement plus rapide, et l'envahissement des terres par les dunes se trouve interrompu ou ralenti. L'ère jovienne est donc bien le « règne de l'homme » et la fin de ce règne ne viendra qu'avec celle de l'homme lui même.

Faune de la période homozoïque. — La dénomination de période homozoïque, employée comme synonyme de celle d'ère jovienne, trouve sa justification dans le caractère même de cette période. Les plantes et les animaux dont se composent les faunes et les flores de l'époque actuelle et des diverses époques de l'ère jovienne appartiennent constamment aux

mêmes genres et très souvent aux mêmes espèces; ce fait est surtout exact pour les végétaux et les mollusques. L'énumération des espèces recueillies par sir Lyell dans les strates marines qui, en Sicile, représentent le terrain quaternaire, lui a montré que 95 °/₀ d'entre elles vivaient encore. Dans une liste dressée par M. Pictet, et comprenant 90 espèces environ de mammifères et de reptiles faisant partie de la faune quaternaire, 57 sont inscrites comme étant encore vivantes. Enfin, ce qui achève d'imprimer à toute la faune quaternaire un certain caractère d'identité avec celle de l'époque actuelle, ce qui nous permet de dire que ces deux faunes sont presque *semblables,* (d'où le nom de période homozoïque donné à l'ère jovienne), c'est la présence constante de l'homme à la surface du globe depuis le commencement de l'ère jovienne. Les espèces différentes sont pourtant en nombre suffisant pour caractériser les époques dont la réunion constitue l'ère jovienne; c'est ainsi que nous voyons à l'*Elephas meridionalis* succéder *l'Elephas primigenius* et celui-ci céder la place aux *Elephas africanus et indicus* actuellement vivants.

Tous les genres et presque toutes les espèces de l'époque actuelle non seulement existaient déjà presque dès le commencement de l'ère jovienne, mais, en outre, avaient la même distribution géographique que de nos jours; dès lors, les édentés étaient presque spéciaux à l'Amérique méridionale et les marsupiaux à l'Australie.

C'est surtout pendant l'ère jovienne que les carnassiers ont pris un développement excessif, et ont dû singulièrement limiter l'extension des races herbivores. L'Europe, qui, de nos jours, ne compte qu'un petit nombre de grands animaux de proie, était alors livrée aux déprédations de deux ou trois espèces d'hyènes, de nombreux ours bien plus grands et bien

plus forts que les nôtres, de loups, et d'au moins cinq espèces de chats, dont une plus grande que le lion, et une autre au moins aussi redoutable que le grand tigre du Bengale. Pendant l'ère jovienne, les pachydermes conservent à peu près la même importance que pendant la période précédente, mais les ruminants prennent, comme les carnassiers, une plus grande extension; le genre *Bos* ne paraît dater que du commencement de l'ère jovienne. L'ordre des proboscidiens est représenté par deux genres : le genre *Mastodon*, qui disparaît peu après le commencement de l'ère jovienne, et le genre *Elephas*, qui existe encore, et dont les débris se rencontrent si fréquemment dans les dépôts de la période diluvienne.

Citons, parmi les types remarquables de la période jovienne, les oiseaux gigantesques de la famille des autruches dont les débris se rencontrent dans les dépôts diluviens et dont la disparition est sans doute l'œuvre de l'homme. Ces oiseaux, dont quelques espèces avaient quatre mètres de hauteur, appartiennent aux genres *Epiornis*, de Madagascar, *Dinornis* et *Palapteryx*, de la Nouvelle Zélande.

Flore de la période homozoïque. — J'emprunte à un travail de M. O. Heer les deux passages suivants qui donneront une idée de ce qu'était la flore jovienne avant l'époque actuelle. Cette flore ne différait pas de celle qui existe aujourd'hui. Souvent les espèces dont elle se composait habitent encore les pays où elles se rencontrent à l'état fossile; d'autres fois, elles ont émigré et se retrouvent dans des régions plus ou moins éloignées de leur point d'origine; rarement, elles ont complétement disparu de la surface du globe.

Les débris de végétaux recueillis dans la tourbe d'Utznach (*antè*, page 171) permettent de se faire une idée de la flore du

commencement de l'ère jovienne. « Cette tourbe a fourni le sapin (*Pinus abies*), le pin (*Pinus sylvestris*), et le bouleau (*Betulus alba*), qui se confondent avec ceux de notre époque, du moins pour ce qui concerne les espèces. On en peut dire autant des joncs (*Scirpus lacustris*), des roseaux (*Phragmites communis*) et du trèfle des marais (*Menianthes trifoliata*), auxquels nous pouvons encore ajouter le mélèze (*Pinus larix*). Il est cependant quelques espèces, entre autres un noisetier, dont je n'ai pu trouver l'analogue parmi les noisetiers vivants. Ajoutons que tous les marais tourbeux ont une flore très monotone et qu'à n'en pas douter les collines et les montagnes voisines d'Utznach étaient revêtues d'une végétation plus riche, et qu'elles possédaient probablement plusieurs espèces qui se sont perdues depuis ou du moins ne sont point parvenues à notre connaissance. »

La vallée de Stuttgart et de Kannstadt présente un tuf où de nombreux ossements du mammouth et du rhinocéros velus sont enfouis avec des débris de plantes dont l'étude peut nous fournir des renseignements sur la flore de la période interglaciaire. « La flore avait alors à peu près le même caractère qu'elle a maintenant dans le pays. On y trouve des sapins rouges et des sapins blancs, le hêtre, le chêne pédonculé, le tremble et le peuplier blanc; des bouleaux et des ormeaux, et, parmi les arbustes, des saules, des noisetiers, des nerpruns et des cornouilliers. On y rencontre cependant quelques espèces qui manquent aujourd'hui à cette contrée : tels sont l'érable de montagne, le buis et l'airelle des marais, puis deux espèces perdues, savoir un peuplier (*Populus Frasii*) à feuilles très grandes et rappelant par sa forme le peuplier baume d'Amérique et un chêne très remarquable (*Quercus mammouthi*) qui portait des feuilles magnifiques et de gros glands. »

CHAPITRE V.

L'HOMME FOSSILE.

Causes qui avaient discrédité la question de l'homme fossile.— Recherches de M. Boucher de Perthes. — Indices et documents sur lesquels l'existence de l'homme dit antédiluvien doit être établie : ossements humains, débris de l'industrie humaine. — Gisements des anthropolites. — Division de l'ère jovienne en plusieurs époques. — L'homme fossile de Denise. — L'homme pendant la période interglaciaire; premier âge de la pierre; station funéraire d'Aurignac; silex d'Amiens et d'Abbeville; mâchoire de Moulin Quignon. — Ossements dans les brèches osseuses, les cavernes, etc.; caverne de Lourdes. — L'homme pendant la période postglaciaire; temps antéhistoriques; deuxième âge de la pierre, âge du bronze, âge du fer. — Habitations lacustres de la Suisse; kjökkenmoddings du Danemark. — Temps historiques.

Historique de la question de l'homme fossile. — Des découvertes récentes et le débat qu'elles ont soulevé ont eu pour conséquence de mettre hors de contestation les faits suivants :

1° La première apparition de l'homme sur la terre est bien plus ancienne qu'on ne l'avait supposé jusqu'à présent ;

2° L'homme a vécu avec les espèces de mammifères actuellement disparues, telles que *Rhinoceros tichorhinus, Ursus spelœus, Elephas meridionalis*, *E. primigenius*, etc.

3° L'homme existe donc à l'état fossile au même titre que ces animaux dont les ossements se trouvent mêlés aux siens.

C'est à la persévérance de M. Boucher de Perthes, c'est au talent qu'il a déployé dans ses recherches que la science est

redevable des nouvelles découvertes dont elle vient de s'enrichir. Depuis longtemps, on avait rencontré, à diverses profondeurs au dessous du sol, d'anciens débris de l'industrie humaine ou des ossements humains, désignés sous le nom d'anthropolites (ἄνθρωπος, homme; λίθος, pierre), dont l'enfouissement devait remonter à une époque très reculée. Il y a plus d'un siècle, à Londres, on retirait du gravier une arme en pierre et, en même temps, les os d'un éléphant. En 1797, dans le comté de Suffolk, on trouvait, dans une formation d'eau douce, des silex taillés du même type que ceux d'Amiens, associés à des restes d'éléphant. En 1823, M. Ami Boué découvrait un squelette presque entier dans une couche ancienne du lehm, près de la ville de Bahr, dans le grand duché de Bade; en tenant compte des circonstances qui ont accompagné la découverte de cet anthropolite, sir Lyell n'hésite pas à reconnaître qu'il était bien en place; Cuvier et Alex. Brongniart, à qui ce squelette fut montré, déclarèrent qu'il provenait d'un cimetière. M. Tournal, en 1827 et en 1833, J. Christol, en 1829, rencontraient, dans le midi de la France, des ossements humains mêlés à des débris de mammifères d'espèces éteintes. En 1833, Schmerling signalait des faits semblables dans les cavernes des environs de Liége; quelques uns des ossements de mammifères d'espèces disparues se montraient à lui travaillés de main d'homme. Plus tard, M. Lund recueillait dans les cavernes du Brésil des crânes humains parfaitement en place et mêlés à des mégatheriums et à des mégalonyx. Toutes ces découvertes attiraient à peine l'attention du monde savant; si on s'en occupait, c'était pour déclarer que le mélange des ossements humains et des débris ayant appartenu aux races anéanties de mammifères résultait d'un remaniement effectué par les eaux qui s'étaient introduites à plusieurs reprises dans les grottes ossifères.

Le discrédit dans lequel se trouvaient tous les travaux et toutes les recherches ayant pour but de constater l'ancienneté de l'homme reconnaissait plusieurs causes. Il était dû, en partie, à l'influence des idées religieuses qui tendaient à enlever à la question des anthropolites son caractère purement scientifique. On se prévalait aussi des paroles de Cuvier déclarant, dans son *Discours sur les révolutions du globe,* qu'il n'y a point d'ossements humains fossiles (1). Ajoutons que l'on n'avait presque aucune idée de la nature des terrains où les débris de l'homme peuvent être rencontrés, ni de leur ordre de succession, ni des phénomènes qui leur ont donné naissance; la géologie était encore, sous plusieurs rapports, bien arriérée. Le dédain avec lequel on accueillait toute annonce d'une découverte tendant à démontrer l'ancienneté de l'homme se trouvait en partie justifié par les erreurs que l'on avait commises à ce sujet. Il existait un parti pris de ne pas séparer le bon grain de l'ivraie et de confondre les découvertes fausses avec celles qui avaient un fondement sérieux.

On rappelait les cas nombreux où les ossements d'éléphant et de mastodonte avaient été pris pour des ossements humains, et l'on citait notamment les débris de proboscidien que l'on

(1) L'affirmation de Cuvier relativement à la date récente de l'apparition de l'homme n'est pas aussi explicite qu'on le croit. « Tout porte à croire, dit-il, que l'espèce humaine n'existait point dans les pays où se découvrent les os fossiles, à l'époque des révolutions qui ont enfoui ces os ; car il n'y aurait eu aucune raison pour qu'elle échappât tout entière à des catastrophes aussi générales, et pour que les restes ne se trouvassent pas aujourd'hui comme ceux des autres animaux : mais je n'en veux point conclure que l'homme n'existait point du tout avant cette époque. Il pouvait habiter quelques contrées peu étendues, d'où il a repeuplé la terre après ces événements terribles ; peut-être aussi les lieux où il se tenait ont-ils été entièrement abîmés, et ses os ensevelis au fond des mers actuelles, à l'exception du petit nombre d'individus qui ont continué son espèce. »

avait, au dix septième siècle, montrés au public comme ayant appartenu à Teutobochus, roi des Cimbres et des Teutons. Les portions de crânes humains signalées dans les plâtrières d'Aix n'étaient que des fragments de carapace de tortue. Cuvier démontrait que le fameux homme fossile d'Œningen, le *Theoscopos* ou l'*homo diluvii testis*, n'était qu'une grande salamandre; il en faisait l'*Andrias Scheuchzeri*, voisin du genre *Sielbodia*, établi sur une salamandre de grande taille découverte au Japon par Siébold. En 1823, on annonçait qu'on avait trouvé près de Moret, dans la forêt de Fontainebleau, un homme pétrifié, renversé sur un cheval également pétrifié; un rapport présenté à l'Académie des sciences démontrait que ce corps bizarre n'avait jamais appartenu à un être organisé. Enfin, pour ne pas prolonger cette énumération, je rappellerai que, en 1805, on recueillait sur les côtes de la Guadeloupe, dans une roche en voie de formation et appelée par les nègres du pays *maçonne-bon-Dieu*, un squelette, qu'on supposait d'abord très ancien; on reconnaissait ensuite que ce squelette appartenait à la race nègre et que son enfouissement n'était pas antérieur à l'époque où les hommes de cette race ont été transportés de l'Afrique aux Antilles.

Maintenant, pour rappeler comment la question de l'homme fossile a pris rang dans la science, il ne me reste plus qu'à résumer, d'une manière très sommaire, les recherches de M. Boucher de Perthes.

Travaux de M. Boucher de Perthes. — C'est en 1826, en examinant une carrière de sable située dans un des faubourgs d'Abbeville, que l'idée de l'existence de silex travaillés de main d'homme dans le terrain diluvien vint à l'esprit de M. Boucher de Perthes. En adoptant cette idée, cet éminent archéologue, loin

de céder à un sentiment antireligieux, espérait trouver un témoignage en faveur de la tradition biblique; les restes des hommes anéantis par le déluge et des débris de leur industrie devaient, selon lui, se rencontrer dans le sol que les eaux avaient subitement envahi et remanié. Toutefois, ce ne fut qu'en 1841 que M. Boucher de Perthes se trouva en possession de débris de l'industrie humaine antérieurs à l'époque celtique; ces débris étaient des haches en pierre trouvées dans les sables diluviens de Menchecourt, un des faubourgs d'Abbeville; c'est dans ces sables que l'on avait déjà rencontré des ossements d'*Elephas primigenius*, de *Rhinoceros tichorhinus*, etc. En 1844, M. Boucher de Perthes recueillit lui même, dans les sablières de l'Hôpital et de Moulin Quignon, à Abbeville, des pierres travaillées de main d'homme. A dater de cette époque, son musée ne cessa de s'enrichir de haches et de couteaux fournis par le terrain diluvien. En 1846, il communiqua les résultats de ses recherches à l'Académie des sciences, mais la cause soutenue par l'auteur des *Antiquités celtiques et antédiluviennes* avait si peu d'adhérents que la commission nommée par l'Académie des sciences jugea inutile de faire un rapport sur le travail soumis à son examen. Pourtant, en 1847, MM. Jomard et C. Prévost venaient à Abbeville; ils visitaient les bancs explorés par M. Boucher de Perthes, les reconnaissaient pour diluviens, et après avoir admis que les silex étaient bien travaillés de main d'homme, ils acquéraient la certitude qu'ils provenaient de ces bancs diluviens. En 1854, feu le docteur Rigolot, d'abord un des principaux opposants à l'opinion soutenue par M. Boucher de Perthes, publiait un mémoire, pour démontrer l'authenticité des découvertes faites par ce dernier. Enfin, en 1859, Falconer, Prestwich, et M. Gaudry se rendaient à Abbeville, et, après des fouilles pratiquées sous leurs yeux, acquéraient

la conviction que les silex taillés se trouvaient dans un terrain vierge, associés à des ossements de mammifères d'espèces anéanties. Depuis lors, de nombreux géologues ont visité les environs d'Abbeville et la vallée de la Somme; tous, à l'exception de M. Sc. Gras, qui a vainement essayé de démontrer que les silex avaient été introduits dans les sables diluviens après le dépôt de ces derniers, tous, dis-je, ont reconnu l'exactitude des faits avancés par M. Boucher de Perthes. Enfin, en 1863, la rencontre d'un maxillaire inférieur au dessous du terrain diluvien de Moulin Quignon a fourni une dernière preuve à l'appui de l'ancienne existence de l'homme dans la vallée de la Somme.

Lorsqu'on suit les diverses péripéties par où la question de l'homme fossile est passée, on est amené à répéter avec sir Lyell la sentence formulée par M. Agassiz de la manière suivante : « Toutes les fois qu'un fait nouveau et saillant se produit dans la science, les gens disent d'abord : « Ce n'est pas vrai; » ensuite : « C'est contraire à la religion; » et à la fin : « Il y a longtemps que tout le monde le savait. » Désormais, la découverte d'un silex taillé, dans le terrain diluvien, ne surprendra pas plus que celle d'une ammonite dans le terrain jurassique.

Témoignages de l'ancienne existence de l'homme. — Les indices et les documents sur lesquels l'existence de l'homme fossile a été établie, sont : 1° les ossements humains; 2° les traces du travail de l'homme sur les ossements des divers animaux ; 3° les débris de l'industrie humaine.

Divers peuples des régions polaires, les Lapons, les Esquimaux, les Samoyèdes, etc., ont l'habitude de casser les os longs pour se nourrir de la moelle ou bien pour faire avec la moelle et la cervelle un mélange destiné à la préparation des

peaux. Cet usage a existé de tout temps chez les hommes qui ont successivement habité la surface du globe. Les cavernes et les terrains diluviens renferment de nombreux ossements de ruminants et d'autres mammifères, qui ont été brisés et dont la cassure ne peut être attribuée qu'à la main de l'homme; ces ossements doivent donc être comptés au nombre des témoignages de l'ancienne existence de la race humaine. La manière dont ces os ont été fendus ou cassés a varié avec les progrès de l'industrie humaine et avec les instruments plus ou moins parfaits successivement employés à chaque époque. Les premiers hommes, munis d'instruments très grossiers, se bornaient à briser les os en frappant dessus avec une pierre ou à les casser à chacune de leurs extrémités. Les os longs de l'aurochs et du renne recueillis par M. Ed. Lartet dans la caverne d'Aurignac dont je vais parler, ont tous été cassés pour en extraire la moelle; mais le mode de cassure, dit M. Lartet, n'est ni aussi méthodique, ni aussi élégant que celui observé dans les kjokkenmoddings du Danemark et autour des pilotis des habitations lacustres de la Suisse, où les os ont été fendus avec une dextérité remarquable, de façon à mettre à nu, d'un seul coup, toute la provision de moelle renfermée dans un os. A Aurignac, ce mode de cassure est assez rare et généralement mal exécuté.

Les os rencontrés dans les cavernes et les gisements d'anthropolites montrent à leur surface des stries et des rayures qui ont été produites par les instruments en silex dont l'homme se servait pour en détacher la chair des animaux. Il est toujours possible, avec un peu d'attention, de ne pas confondre ces stries et ces rayures avec celles qui ont été formées dans d'autres circonstances, et notamment avec celles que les carnivores laissent sur les os en les rongeant. On peut encore les

distinguer des stries que les glaces flottantes ou les cailloux charriés par les eaux ont pu produire, des fentes résultant de la dessication, et des empreintes que les racines des végétaux laissent sur les os avec lesquels elles se trouvent en contact.

Mentionnons encore les os qui ont été travaillés pour être affectés à divers usages ou qui portent à leur surface des dessins plus ou moins grossiers (1). Il en est enfin qui ont conservé l'empreinte déterminée par le choc d'une flèche ou d'une arme quelconque.

Les débris de l'industrie humaine les plus répandus dans les gisements d'anthropolites sont les instruments en pierre, les seuls dont l'homme se soit servi jusqu'à l'époque relativement très moderne où il a connu l'usage du bronze et du fer. Les pierres travaillées par l'homme primitif étaient presque constamment des silex et surtout des silex de la craie blanche. Dans quelques contrées où ces substances se rencontraient, le jade, l'obsidienne et d'autres roches silicatées étaient également employées. L'ouvrier, pour rendre sa tâche plus facile, avait sans doute le soin de travailler la pierre dès qu'elle était retirée du sol et qu'elle renfermait encore son eau de carrière. Il savait imprimer au bloc qu'il avait entre les mains une forme en relation avec l'usage auquel l'instrument qu'il fabriquait était destiné. Les instruments en pierre conservés dans les diverses collections ont reçu les noms de *haches, hachettes, flèches, couteaux, lancettes*, etc., suivant la forme qu'ils présentent et l'usage auquel on les suppose avoir servi. Les ouvriers, employés dans les carrières qui fournissent la plupart

(1) M. Ed. Lartet vient de découvrir, dans un gisement ossifère du Périgord, une lame d'ivoire sur laquelle avait été dessinée à la pointe l'image, parfaitement reconnaissable quoique grossière, de l'*Elephas primigenius*.

des silex travaillés, sont parvenus à les imiter assez bien pour tromper les personnes peu exercées ; mais ces silex imités ne doivent pas nous faire mettre en doute l'authenticité de ceux qui datent des temps anciens, pas plus que les médailles romaines fabriquées de nos jours doivent nous faire supposer qu'il n'y en a pas datant de l'époque dont elles portent le millésime.

Gisements des anthropolites. — Les anthropolites et toutes les traces de l'ancienne existence de l'homme existent dans quatre sortes de gisements : les *tourbières*, les *terrains de transport*, les *brèches osseuses*, et les *cavernes à ossements*.

Des squelettes humains et des débris de l'industrie de l'homme se rencontrent en assez grande abondance dans les tourbières ; mais les tourbières actuellement existantes sont postérieures à la dernière extension des glaciers (*antè*, page 171) ; aussi leur exploration n'offre-t-elle qu'un médiocre intérêt pour le géologue, depuis qu'on a reconnu qu'il fallait faire remonter la première apparition de l'homme à une époque plus ancienne que celle des tourbières.

Les bancs qui ont été explorés dans la vallée de la Somme par M. Boucher de Perthes et d'autres observateurs sont des exemples de gisements d'anthropolites dans les terrains de transport. Tantôt ces anthropolites ont été déposés sur place, puis recouverts par les dépôts où ils se trouvent enclavés ; tantôt ils ont été entraînés par les courants diluviens avec les débris de roches dont les terrains de transport sont formés.

Les brèches osseuses, considérées comme gisements d'anthropolites, se rattachent aux terrains de transport ; les courants qui ont donné origine à ces terrains ont en même temps charrié les ossements humains qu'on rencontre dans ces brèches.

Les anthropolites renfermés dans les cavernes s'y présentent dans des conditions différentes démontrant que leur introduction a été la conséquence de causes diverses. Tantôt ils y ont été amenés par voie de charriage, c'est à dire à la suite des mêmes phénomènes qui ont eu pour résultat le remplissage des brèches osseuses; tantôt ils y ont été abandonnés par l'homme pendant qu'il les habitait. Quelques unes des circonstances de cette habitation des cavernes par l'homme seront mentionnées dans ce chapitre, lorsqu'il sera question des grottes d'Aurignac et de Lourdes.

Les eaux, en s'introduisant dans les cavernes, ont quelquefois opéré le remaniement de tous les débris qu'elles renfermaient; les ossements des animaux ayant vécu à des époques différentes se trouvent mélangés pêle-mêle et le géologue est alors exposé à se tromper sur l'époque à laquelle il faut faire remonter l'enfouissement de chacun d'eux. Il y a, dans ce cas, des chances d'erreur contre lesquelles le géologue doit se mettre en garde; c'est en supposant des remaniements que les savants n'admettant pas l'ancienne existence de l'homme ont expliqué la présence simultanée sur les mêmes points des anthropolites et des ossements d'animaux ayant appartenu à des espèces éteintes.

Je me suis déjà occupé, tome I, page 341, de diverses questions se rattachant aux grottes et aux cavernes; j'ai sommairement indiqué leur mode de formation et de remplissage et j'ai recherché comment les ossements y avaient été introduits.

Division de l'ère jovienne en plusieurs époques. — L'ère jovienne, dont j'ai déjà indiqué les limites (*antè*, tome I, page 364), se partage d'abord en trois grandes époques séparées l'une de l'autre par un intervalle de temps dont la longueur est diffi-

cile à apprécier et pendant lequel les phénomènes glaciaires ont pris une grande extension. On peut distinguer dans l'ère jovienne : 1° une *époque antéglaciaire*, antérieure à la première apparition des glaciers et correspondant, pour quelques auteurs, à la partie tout à fait supérieure du terrain pliocène ; 2° une *époque interglaciaire*, comprise entre les deux apparitions des glaciers et correspondant au terrain quaternaire proprement dit ; 3° une *époque postglaciaire*, postérieure à la dernière extension des glaciers. Vers le milieu de la période interglaciaire, les phénomènes diluviens ont perdu de leur importance par suite de l'élévation de la température. Les cours d'eau, réduits à un volume de plus en plus faible, ont fonctionné plutôt comme agents d'érosion que comme agents de transport (voir tome I, pages 373 et 432) ; alors s'est développé un phénomène que l'on a désigné sous le nom de creusement général des vallées ; ce phénomène permet de partager l'époque interglaciaire en deux autres époques.

D'après ce qui précède, on voit que l'ère jovienne se divise en quatre époques. Chacune d'elles est représentée par des dépôts que distinguent les uns des autres leur ordre de superposition, leurs caractères minéralogiques, les circonstances qui ont présidé à leur formation et les animaux dont ils renferment les débris. Je crois utile d'indiquer quels sont les principaux d'entre eux, et de mentionner les animaux dont les débris nous permettent de reconnaître leur âge. Pour chacune de ces époques, nous aurons à citer des témoignages de l'ancienne existence de l'homme.

A l'époque antéglaciaire se rattachent le conglomérat bressan et celui de la plaine de la Crau, les alluvions anciennes du val d'Arno, les alluvions sous volcaniques de Perrier (Auvergne) et de Palerme en Sicile, les sables de Saint Prest, près de

Chartres, etc. Pendant cette époque vivaient les *Elephas meridionalis*, *Rhinoceros leptorhinus*, *Hippopotamus major*, *Mastodon arvernensis*, *Ursus arvernensis*, etc.

Nous venons de voir que l'époque interglaciaire était susceptible de se diviser en deux autres époques et que la ligne de démarcation correspondait au moment où s'était effectué le creusement général des vallées. Ce phénomène n'a pu exercer une grande influence sur la faune des mammifères et amener la disparition de la plupart d'entre eux. Aussi, les dépôts appartenant aux époques interglaciaire inférieure et supérieure sont-ils ordinairement caractérisés par les mêmes espèces. Les principales de ces espèces sont: *Elephas primigenius*, *Elephas antiquus*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Bos primigenius*, *Cervus megaceros*, *Hippopotamus major*, *Ursus spelæus*, *Hyæna spelæa*, etc. L'*Elephas antiquus*, qui vivait déjà pendant la période antéglaciaire, n'existait plus pendant la seconde période interglaciaire; en attendant que les progrès de la science modifient cette manière de voir, on peut considérer la présence simultanée des *Elephas primigenius* et *antiquus* dans les formations du même âge comme indiquant que ces formations datent de la première époque interglaciaire. — A cette époque interglaciaire supérieure appartiennent la plupart des alluvions anciennes à ossements, le diluvium gris de la vallée de la Seine, une partie du crag de Norwich, etc. A la seconde se rattachent le diluvium rouge de la vallée du Rhône et d'autres contrées, ainsi que la presque totalité des dépôts lhemiens; c'est aussi pendant cette seconde période que s'est surtout opéré le remplissage des cavernes à ossements et des brèches osseuses.

A l'époque postglaciaire correspondent les alluvions modernes, les deltas, la majeure partie des dunes, les tourbières, presque toute la terre végétale recouvrant actuellement la sur-

face du globe. Pendant cette époque, la faune, à part quelques espèces dont la disparition est toute récente, a été la même que celle qui habite maintenant notre planète.

L'époque postglaciaire se divise en temps *antéhistoriques* et *temps historiques;* ceux-ci ne remontent pas au delà des siècles dont la tradition écrite ou parlée nous a conservé le souvenir. Les temps antéhistoriques se partagent à leur tour en trois âges, que l'on désigne sous les noms d'*âges de la pierre, du bronze et du fer,* à cause de la nature des substances que l'homme a successivement employées dans la fabrication de ses armes et de ses outils. On doit même distinguer deux âges de la pierre : l'un correspondant à la période postglaciaire et pendant lequel les hommes se servaient de pierres parfaitement polies, l'autre embrassant les époques antéglaciaire et interglaciaire et pendant lequel les instruments en pierre étaient d'un travail plus grossier.

L'homme pendant l'époque antéglaciaire; l'homme fossile de Denise; empreintes de Saint Prest. — Près du Puy en Velay s'élève la montagne volcanique de Denise où ont été recueillis des anthropolites dont l'enfouissement semble remonter à la période antéglaciaire. Cette montagne est recouverte en majeure partie de cendres, de scories et de déjections volcaniques. En 1845, on y a rencontré quelques fragments de crâne et d'autres ossements humains ayant appartenu à deux individus, l'un jeune, l'autre adulte; ces restes, actuellement conservés au musée du Puy, étaient engagés dans un tuf volcanique, poreux et léger. Dans un autre lit de tuf recouvrant la pente de la montagne de Denise du côté opposé à celui où se trouvait l'anthropolite, on a rencontré les débris de divers mammifères tels que *Elephas meridionalis*, *Hippopotamus major*?

Rhinoceros megarhinus ? (leptorhinus), *Hyœna brevirostris*, *Mastodon arvernensis ?* etc.

L'authenticité de ces anthropolites, qui d'abord avait été mise en doute, n'est plus contestée par aucun savant. L'indécision n'existe que sur l'époque à laquelle il faut faire remonter leur enfouissement. Ces anthropolites et les débris des mammifères qui viennent d'être mentionnés se trouvent, au pied de la même montagne volcanique, engagés dans des roches de la même nature. Il nous paraît naturel d'admettre que ce sont, non les mêmes éruptions, mais les éruptions d'une même époque géologique qui ont amené l'ensevelissement des uns et des autres. Aussi, n'éprouvons-nous aucune difficulté à nous rallier à l'opinion des paléontologistes qui pensent que l'homme fossile de Denise a été le contemporain de l'*Elephas meridionalis*, du *Mastodon arvernensis*, et de toute la faune dont on trouve les débris au Puy en Velay, à Issoire et dans les alluvions sous volcaniques de Perrier.

La haute antiquité de l'homme fossile de Denise est devenue très probable depuis les intéressantes observations faites par M. J. Desnoyers dans les sablonnières de Saint Prest. Cette localité est située aux environs de Chartres, dans la vallée et sur la rive gauche de l'Eure; elle possède le seul gisement connu jusqu'ici dans l'ouest de la France d'ossements d'*Elephas meridionalis* réunis à des débris de *Rhinoceros leptorhinus*, d'*Hippopotamus major*, et d'un cheval semblable à celui de l'Arno. Les sablonnières de Saint Prest font partie d'un dépôt de transport d'aspect fluviatile comme celui du val d'Arno; il est composé de sables diversement colorés, purs ou mêlés d'argile et de gravier de silex de la craie; il est recouvert par une nappe épaisse de lehm et de terrain de transport plus récent; il se superpose et s'adosse à la craie dont il remplit les anfrac-

tuosités. Ce dépôt ne peut être confondu avec le terrain de transport moderne de la vallée de l'Eure, placé à 25 ou 30 mètres plus bas que les sablonnières de Saint Prest; quant au diluvium proprement dit, il paraît manquer sur les plaines calcaires de la Beauce, mais on le retrouve un peu plus au nord, dans cette même vallée de l'Eure, vers Dreux et Ivry, avec des débris d'*Elephas primigenius*.

En 1863, M. J. Desnoyers, en visitant les sablonnières de Saint Prest, y recueillit des ossements appartenant surtout au *Rhinoceros leptorhinus*. Ces ossements se trouvaient à l'un des deux niveaux où depuis 15 ans on rencontrait des débris d'*Elephas meridionalis* et d'autres grands mammifères. Les ossements, retirés de la carrière par M. J. Desnoyers, présentaient des stries ou traces d'incisions, très nettes, quelques unes très fines et très lisses, les autres plus larges et plus obtuses; ces stries étaient accompagnées de petites incisions ou entailles elliptiques, nettement limitées. Des dendrites ferrugineuses et le sable recouvraient une grande partie de ces stries et cavités. D'autres ossements, plus anciennement recueillis à Saint Prest et qui se trouvent dans diverses collections, ont présenté à leur surface les mêmes accidents, et, après un examen attentif, M. J. Desnoyers a cru devoir admettre que les stries ont été produites par des lames tranchantes ou dentelées de silex, tandis que les entailles elliptiques ont été déterminées par le choc d'un instrument aigu. Ce qui l'engage à voir dans ces stries et ces entailles le témoignage d'un travail humain, c'est que, sur quelques ossements provenant de Saint Prest, et particulièrement sur une portion de crâne d'éléphant conservée au muséum de Paris, on peut apercevoir les traces de flèches qui sembleraient avoir glissé sur la matière osseuse après avoir traversé la peau et les

chairs; on y peut même distinguer la cavité triangulaire aiguë laissée par la pointe, et des entailles latérales produites par les dentelures d'une flèche de silex ou d'os. M. J. Desnoyers a aussi observé des os de ruminants brisés en long et en travers, dans le but d'en retirer la moelle. Des bois de grands cerfs lui ont également présenté diverses particularités qui trahissent un travail humain et quelques uns rappellent même ceux qui ont servi à emmancher des silex. Toutes les traces qui ont été reconnues sur les ossements de Saint Prest comme démontrant l'existence de l'homme, sont du même ordre que celles qu'on a constatées dans les dépôts tourbeux et autres, de date moderne. Personne ne met en doute la signification de ces dernières : il doit en être de même pour celles de Saint Prest.

L'homme pendant l'époque interglaciaire inférieure ; environs d'Amiens et d'Abbeville ; station funéraire d'Aurignac. — Près d'Abbeville, la vallée de la Somme a un kilomètre et demi de largeur ; les talus qui la limitent atteignent une élévation de 60 à 90 mètres. Elle est creusée dans la craie blanche ; l'âge des plus anciens terrains de transport qu'elle renferme indique que sa formation est postérieure à l'époque antéglaciaire ou de l'*Elephas meridionalis* et date de la première apparition des glaciers. Des dépôts, de 15 à 20 mètres d'épaisseur, sont placés en placards contre les talus ; ils sont formés de sable et de gravier avec intercalation de lits de limon fluviatile ; ce sont eux qui renferment les instruments en silex, ainsi que les ossements de mammifères antédiluviens rencontrés dans la vallée de la Somme. — A Menchecourt, près d'Abbeville, ces dépôts consistent en des lits alternants de gravier, de marne et de sable, avec coquilles terrestres et d'eau douce, et, parfois aussi, dans les couches inférieures, des coquilles marines. Parmi ces co-

quilles se trouve la *Cyrene fluminalis* qui ne vit plus en Europe, mais habite le Nil et plusieurs parties de l'Asie. Au dessus de ces dépôts, on observe un limon calcaire semblable au lehm et renfermant comme eux des ossements d'éléphant et des coquilles terrestres et d'eau douce. Ce limon est lui même recouvert, en discordance de dénudation, par une argile brune, avec silex anguleux, qui doit son origine aux agents atmosphériques, s'applique sur les flancs des coteaux et date d'une époque assez récente. — Une coupe prise à Saint Acheul, près d'Amiens, montre une disposition semblable : au dessous de la terre végétale, on trouve d'abord le limon brun, avec silex anguleux. puis, séparés par une discordance de dénudation, deux bancs l'un de sable blanc siliceux et l'autre de gravier ; ces deux bancs renferment également des ossements d'éléphant et des instruments en pierre.

Les amas de sable et de gravier, qui viennent d'être indiqués comme renfermant les débris de mammifères dits antédiluviens, sont de la même époque que les dépôts que l'on désigne ordinairement sous le nom d'*alluvions anciennes à ossements* ou de *diluvium gris*. Ce sont les derniers lambeaux d'un terrain de transport qui remplissait jadis la vallée de la Somme dans toute sa largeur et que les phénomènes d'érosion ont presque complétement détruit pendant la période interglaciaire supérieure. Ces phénomènes d'érosion ont déterminé le creusement d'une vallée encaissée dans la vallée primitive ; dans cette seconde vallée, plus étroite que la première, se sont déposés les alluvions modernes et les dépôts tourbeux de l'époque actuelle. Sur les plateaux qui limitent la vallée de la Somme apparaissent des lambeaux de terrains de transport plus anciens que ceux dont il vient d'être question, et considérés comme se rattachant à la période pliocène ; nous ne contes-

tons pas leur situation relative, mais la manière dont nous appréciions les limites du terrain quaternaire nous porte à penser que ces dépôts des plateaux pourraient bien correspondre aux sables de Saint Prest.

L'âge des anciens terrains de transport de la vallée de la Somme est nettement accusé par la faune dont ils contiennent les débris. Les espèces qui la composent sont : *Elephas primigenius*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Equus fossilis*, *Bos primigenius*, *Cervus somonensis*, *Cervus Tarandus priscus*, *Felis spelæus*, *Hyæna spelæa*, *Ursus spelæus* ?

Les débris de l'industrie humaine rencontrés aux environs d'Amiens et d'Abbeville consistent en de nombreux silex quelquefois taillés d'une manière plus ou moins parfaite, mais jamais polis. Quelques uns ont une forme triangulaire et ont pu servir de *flèches*. Ceux que l'on désigne sous le nom de *haches* ou de *hachettes* ont une forme épaisse et peuvent avoir servi de casse-tête ou d'assommoir. D'autres, qu'on appelle des *couteaux*, à cause soit de leur aspect, soit des usages auxquels on les suppose avoir servi, ont une forme plus mince, plus effilée, plus aiguë. Du reste, on ne constate pas entre ces diverses formes de différence bien tranchée. Enfin, il existe des instruments, également en silex, qui ont une destination douteuse et inconnue ; ils n'ont pu être employés ni comme armes ni comme outils ; M. Boucher de Perthes pense que c'étaient purement des symboles ou des signes traditionnels et religieux. Ces instruments présentent quelquefois une ressemblance grossière avec des figures humaines ou d'animaux ; d'autres accusent chez l'ouvrier la volonté de faire quelque chose, sans qu'il soit possible de reconnaître ce qu'on a voulu faire. — Dans les carrières de Saint Acheul et dans quelques autres d'Amiens, on rencontre de petits corps ronds, portant au centre une cavité

tubulaire, tantôt naturelle, tantôt artificielle; ce sont des *Coscinopora globularis,* fossiles de la craie blanche.

Pour assurer le succès de la cause soutenue pendant de longues années par M. Boucher de Perthes, une découverte restait à faire ; c'était celle d'ossements ayant appartenu à l'homme même qui avait façonné les silex taillés. Cet heureux résultat a été obtenu en 1864. — A la sablière de Moulin Quignon, près d'Abbeville, entre la craie blanche et un banc de sable avec hachettes en silex et dents d'*Elephas primigenius*, il existe un lit de sable noir, argilo-ferrugineux, avec silex taillés de main d'homme. C'est dans ce banc, situé à 30 mètres au dessus du niveau de la Somme, que M. Boucher de Perthes a découvert, en 1864, quatre dents et une mâchoire inférieure d'homme. Ces débris ont fait l'objet d'une longue discussion que l'on a spirituellement appelée le *procès* de la mâchoire de Moulin Quignon. L'enquête à laquelle on s'est livré a eu pour résultat de faire admettre, à part quelques dissidences inévitables dans des questions aussi délicates et aussi controversées, que cette mâchoire était bien en place et que son enfouissement datait de l'époque où vivait l'*Elephas primigenius.*

La cavité que M. Lartet a fait connaître sous le nom de « station funéraire d'Aurignac, » est située dans le département de la Haute Garonne, à 1600 mètres du bourg de ce nom. Elle est creusée dans le terrain nummulitique et se trouve située à 14 mètres environ au dessus d'un ruisseau; le plancher de cette cavité n'a pas plus de 2^{m},25 de profondeur sur une plus grande largeur de 3 mètres à l'entrée; en dehors de la grotte et un peu en contre-bas, le sol se continue en une sorte de plate-forme de quelques mètres de superficie. Lorsque cette cavité fut découverte, il y a une dizaine d'années, les abords en étaient masqués par un amoncellement en talus de

fragments de roche et de terre végétale. Le talus ayant été déblayé, on se trouva en présence d'une dalle qui, retirée, laissa apercevoir des crânes et des ossements humains; l'énumération de certaines pièces homologues du squelette démontre que la cavité contenait les restes de dix sept squelettes ayant appartenu à des individus des deux sexes, les uns jeunes, les autres adultes. Ces ossements avaient été inhumés dans le cimetière d'Aurignac et la cavité avait été à peu près déblayée, lorsque M. Lartet eut, en 1860, l'occasion de visiter cette localité. D'après M. Lartet, la cavité d'Aurignac était un lieu d'inhumation; il est à supposer que chaque fois qu'un corps humain y était déposé, la dalle était écartée pour un moment et ensuite réappliquée aussitôt la cérémonie terminée. La terre meuble occupant le sol de la cavité renfermait encore quelques ossements humains, des silex taillés, des bois de renne travaillés et un assez bon nombre d'os de mammifères dans un état de conservation remarquable. L'explication la plus rationnelle que l'on puisse donner de la présence des restes d'animaux enfouis dans cette sépulture, c'est qu'ils y avaient été introduits comme consécration rentrant dans des rites funéraires, dont on trouve des exemples analogues dans beaucoup de sépultures des temps moins anciens. Le remblai qui recouvre la plate-forme extérieure consiste en terre mêlée de cendres et repose sur un lit de cendres et de charbon de bois de 15 centimètres d'épaisseur. Ce remblai renfermait des objets travaillés, des pierres de foyer formées d'un grès fissile, un très grand nombre de dents, principalement d'herbivores, et plusieurs centaines d'os des mêmes animaux. Quelques uns de ces os étaient en partie carbonisés, mais le plus grand nombre ne paraissait pas avoir subi l'action du feu. Les os longs et à cavité médullaire présentaient presque tous un mode de cassure

uniforme dénotant qu'ils avaient été cassés en vue d'en extraire la moelle. On trouvait quelquefois à leur surface des rayures et des entailles peu profondes qui semblaient avoir été produites par le tranchant d'un instrument employé pour en détacher les chairs ; en effet, on a recueilli dans les cendres une centaines d'éclats de silex qui paraissaient avoir été fabriqués sur place et dont le plus grand nombre étaient taillés en *couteaux*. Beaucoup de ces os portaient l'empreinte énergique des dents d'un carnassier; la rencontre, dans les cendres mêmes du foyer, de coprolites d'hyène témoigne que c'était ce puissant carnivore qui venait, après chaque repas funèbre, se nourrir des restes du repas de l'homme. C'est encore à la voracité de l'hyène que l'on peut attribuer la disparition totale, soit du foyer, soit du remblai ossifère qui le recouvre, des vertèbres et des autres parties spongieuses dans les os d'herbivores.

Parmi les objets travaillés rencontrés dans la station funéraire d'Aurignac, M. Lartet cite : dix huit petits disques percés dans leur milieu, et fabriqués avec la partie épaisse du test d'une coquille marine; des instruments de diverses formes, et notamment des flèches, fabriqués pour la plupart avec la partie la plus compacte du bois de renne; un poinçon très effilé, fabriqué avec la perche d'un bois de chevreuil et qui paraît avoir servi à coudre des peaux d'animaux; une dent d'ours, qui représentait grossièrement une tête d'oiseau, etc.

Le dépouillement des mammifères recueillis dans la station d'Aurignac a fourni l'indication de 19 espèces, telles que : *Ursus spelæus, Hyæna spelœa, Elephas primigenius, Rhinoceros tichorhinus, Cervus elaphus, C. megaceros, C. tarandus, Bison europœus,* etc. Ces débris indiquent assez à quelle époque il faut rattacher la station funéraire d'Aurignac; c'est à l'époque interglaciaire. D'après M. Lartet, l'*Ursus spelœus* paraît

être l'espèce la première disparue de ce groupe de grands mammifères que l'on invoque comme caractéristiques de la période antédiluvienne; il voit dans cette circonstance un motif suffisant pour penser que la sépulture d'Aurignac remonte à la même époque que les silex taillés d'Abbeville.

L'homme pendant l'époque interglaciaire supérieure; lehm, cavernes à ossements et brèches osseuses; grotte de Lourdes, etc. — C'est à l'époque interglaciaire supérieure qu'appartiennent presque en totalité les ossements humains et les débris de l'industrie humaine qu'on a signalés dans les grottes ; c'est de cette époque, en effet, que date surtout le remplissage des cavernes à ossements et des brèches osseuses. (Voir tome I, page 350.) Dans ces cavernes et dans ces brèches, les ossements humains accompagnent ceux des animaux que nous avons cités comme caractérisant l'époque du diluvium supérieur et du lehm.

Parmi les grottes et cavernes où ont été rencontrés des anthropolites se rattachant à l'époque interglaciaire, je mentionnerai d'abord celles des environs de Liége, si bien explorées, il y a trente ans, par le docteur Schmerling. Des os humains et des instruments grossiers en silex s'y sont montrés mélangés avec ceux d'espèces vivantes et d'espèces éteintes, telles que l'ours des cavernes, l'hyène, l'éléphant et le rhinocéros. Schmerling n'a trouvé ni os rongés, ni coprolites; les os étaient épars et roulés. Il en conclut que les cavernes des environs de Liége n'avaient point servi de repaires à des bêtes sauvages, et que leur contenu organique et inorganique y avait été précipité par des courants en communication avec la surface du sol. Il n'hésite pas, du reste, à admettre que l'homme a été le contemporain de l'ours des cavernes et des autres espèces éteintes dont

il a recueilli les débris dans les cavernes visitées par lui.

En 1859 et en 1860, M. de Vibraye a fait des fouilles dans la grotte des Fées, située près d'Arcy. Il a été constaté par lui qu'il existe dans cette grotte trois couches bien distinctes; c'est au dessus de ces trois couches que se trouvent le plus grand nombre des objets travaillés qui ont été recueillis dans cette grotte. La couche supérieure est un banc où l'on n'a rencontré que des ossements d'animaux vivant encore aujourd'hui dans le pays. La couche moyenne est presque entièrement formée de débris empruntés aux calcaires oolitiques des environs et enveloppés de ciment rouge; elle a beaucoup d'analogie avec les brèches osseuses du midi de la France; on n'y rencontre pas de débris d'ours ou d'hyène, mais de nombreux ossements de ruminants et notamment de renne; une hache ou plutôt un casse-tête en roche amphibolique en a été extraite. La couche inférieure est composée de matériaux granitiques provenant du Morvan; on en a retiré des ossements d'*Elephas primigenius*, de *Rhinoceros tichorhinus*, d'*Ursus spelæus*, d'*Hyæna spelæa*, de *Cervus tarandus*, et, à cinq reprises différentes, des ossements humains et des silex ouvrés.

Les Pyrénées présentent de nombreuses cavernes avec ossements d'animaux et débris de l'industrie humaine. M. Garrigou, en étudiant la manière dont ces ossements et ces débris s'y trouvent distribués, a été conduit à formuler les conclusions suivantes : Dans le midi de la France, depuis le commencement de l'époque quaternaire jusqu'au début des temps historiques exclusivement, trois grandes phases se sont succédé. Lors de la première phase (notre période interglaciaire inférieure), l'homme se contentait de casser grossièrement les ossements des animaux, dont il mangeait sans doute la chair, pour en faire des armes primitives et brutes : il façonnait aussi

les quartzites du pays dans le genre des silex d'Abbeville ; il était le contemporain des *Ursus spelæus*, *Hyæna spelæa*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Elephas primigenius*, *Megaceros hibernicus*, *Cervus elaphus*, *Bos primigenius*, etc. ; les ossements de ces animaux se rencontrent ordinairement dans les cavernes situées entre 150 et 250 mètres au moins au dessus du niveau des vallées actuelles et dans les couches profondes et inférieures des cavernes à dépôts fossilifères multiples. — Lors de la seconde phase (notre période interglaciaire supérieure) se seraient peu à peu éteints les grands carnassiers et les grands pachydermes. Le renne (*Cervus tarandus*), déjà existant pendant la période précédente, serait devenu, par son abondance, caractéristique d'une époque pendant laquelle l'homme n'aurait pas encore domestiqué les animaux. Les silex étaient alors taillés avec art et finesse, les instruments travaillés avec plus d'intelligence, car ils portent des sculptures et des dessins. Le renne et la faune qui l'accompagne se trouvent dans les grottes situées vers le pied des montagnes et, dans certaines cavernes, parmi les dépôts immédiatement superposés à ceux qui renferment les mammifères des alluvions quaternaires anciennes. — La troisième phase (notre période postglaciaire antéhistorique) serait caractérisée par une faune composée en grande partie d'animaux domestiques, et dont les débris ont été rencontrés à l'entrée de cavernes, occupant aussi le fond des vallées, et quelquefois au milieu des dépôts meubles constituant dans certaines grottes les couches directement superposées à celles qui renferment, soit le grand ours, soit le renne. Les instruments en os sont mieux finis, les roches ne sont plus taillées, mais polies, l'art du potier prend du développement ; l'homme connaît l'agriculture, mais il n'utilise encore aucun métal.

La grotte de Lourdes (Hautes Pyrénées), qui a été explorée avec soin par M. Alph. Milne Edwards, nous fournit un témoignage de l'habitation des cavernes par l'homme pendant l'époque interglaciaire supérieure. Au centre de cette grotte, au pied d'un gros fragment de rocher où le jour pouvait facilement arriver, on a trouvé de grandes plaques d'un grès fissile rougi par le feu, des débris de charbon, et une grande quantité d'ossements de renne, de cheval et surtout d'aurochs. L'exploration de cette grotte a également amené la rencontre d'un fragment de crâne humain, de silex en couteaux avec les cailloux d'où on les a détachés, ce qui prouve qu'ils ont été fabriqués dans la caverne, d'instruments façonnés en os et en bois de cerf ou de renne, un morceau d'ocre jaune, taillé en pointe, qui peut-être avait servi de crayon. La plupart des os portent des traces bien évidentes faites par le tranchant des instruments destinés à séparer les chairs. En s'appuyant sur diverses considérations paléontologiques, M. Alp. Milne Edwards est amené à penser que la grotte de Lourdes était probablement habitée à l'époque où se déposait le lehm, c'est à dire avant la seconde apparition des glaciers.

J'ai déjà mentionné la découverte d'un squelette presque entier rencontré, en 1823, dans le lhem du grand duché de Bade, et, par conséquent, dans un terrain de transport correspondant à la période interglaciaire supérieure.

L'homme pendant la période postglaciaire. — Le nombre de siècles qu'embrasse la période interglaciaire est incomparablement plus grand que celui qui correspond aux temps historiques. Pendant toute cette période, quelque grande qu'ait été sa durée, aucun progrès ne semble s'être manifesté dans l'industrie humaine. Mais, immédiatement après la dernière retraite des

glaciers, un nouveau pas vers une civilisation de plus en plus avancée s'est accompli ; on en trouve la preuve dans l'habitude prise par l'homme d'apporter plus de soin et plus d'art dans la fabrication des instruments qu'il employait. Les instruments en pierre étaient polis et présentaient des formes plus régulières. L'homme s'est ensuite servi du bronze et puis, enfin, du fer. Ces progrès si rapides, accomplis après une longue période de stagnation, doivent-ils être attribués surtout à des changements dans les races appelées les unes après les autres à vivre sur la surface du globe ? C'est là une question que je ne crois pas devoir aborder ici. Je ne m'occuperai pas non plus de tout ce qui se rattache à l'histoire de l'homme pendant la période postglaciaire ; cette histoire est, en effet, du ressort de l'archéologie plutôt que de la géologie proprement dite. Je me bornerai à dire quelques mots des tourbières, des kjokkenmoddings du Danemark, des habitations lacustres de la Suisse, des crannoges de l'Irlande et des ouvrages en terre de l'Amérique septentrionale.

Les ossements humains et les anthropolites des tourbières appartiennent, comme les tourbières elles mêmes, à la période postglaciaire ; les débris du travail de l'homme que l'on y rencontre dénotent une industrie plus avancée que pendant les temps antérieurs; les haches dites *celtiques* qui s'y trouvent se distinguent parfaitement des haches dites *anté-diluviennes* du premier âge de la pierre. M. Steenstrup, qui a si bien étudié les *skovmoses* ou marais à forêts du Danemark, a constaté que trois végétations se sont succédé dans ce pays : celles du pin (*Pinus sylvestris*), du chêne (*Quercus robur*), et du hêtre (*Fagus sylvaticus*), correspondant respectivement aux trois âges de la pierre, du bronze et du fer. L'homme semble avoir habité le Danemark lorsque les forêts

de pin ont commencé à y croître, et lorsque les marais tourbeux qui le recouvraient d'abord ont tendu à disparaître.

« Sur les côtes du Danemark et des îles adjacentes, dit M. Morlot, se trouvent des amas de coquilles marines, pris d'abord pour des bancs formés naturellement au fond de la mer, mais qui sont en réalité les restes de mollusques et autres animaux dont se nourrissaient les premiers habitants du pays. Cette origine est démontrée par les débris d'industrie grossière qu'on y trouve disséminés. Ces amas ont reçu le nom de *kjokkenmoddings* composé de deux mots danois, *kjokken*, qui veut dire cuisine, et *moddings*, rebuts, restes, ordures. On n'observe guère ces amas que le long des fiords et des bras de mer où l'action des vagues est faible. Ils sont généralement placés sur le bord même de l'eau : quelques uns cependant en sont actuellement à 2 milles de distance, soit qu'il y ait eu un soulèvement de la plage depuis leur formation, soit qu'ils s'étendissent réellement jusque là. L'épaisseur des kjokkenmoddings varie de 1 mètre à 1 mètre 60 : quelquefois elle atteint 3 mètres. Leur longueur est parfois de plus de 300 mètres, et leur largeur de 50 à 65 mètres. Le charbon et les cendres trouvés dans ces amas proviennent, en grande partie, de *Zostera marina*. Des armes ou instruments grossiers fabriqués avec des silex, avec des os et des bois de cerfs, sont les restes d'industrie les plus communs dans ces accumulations de débris d'animaux. Ces témoins, laissés par les premières réunions d'hommes qui ont vécu sur les côtes du Danemark, s'observent avec les mêmes caractères de l'autre côté de l'Atlantique, sur les rivages des Etats Unis, aussi bien qu'à l'extrémité opposée du nouveau continent à la Terre de Feu où, suivant M. Ch. Darwin, les naturels vivent aujourd'hui comme

ces populations primitives du Nord. » (D'Archiac, *Paléontologie stratigraphique*.)

En Suisse, les hommes contemporains de ceux qui formaient les kjokkenmoddings du Danemark, habitaient des huttes établies sur pilotis au bord des lacs, comme le font encore de nos jours plusieurs peuplades, telles que les Papous de la Nouvelle Guinée, ou comme le faisaient jadis les Pæoniens du lac Prasias. Ces huttes, désignées par les archéologues suisses sous le nom de *pfahlbauten* ou d'habitations lacustres, étaient circulaires : elles devaient avoir de 3 à 5 mètres de diamètre, et formaient, en se groupant entre elles, de véritables villages dont la population était assez nombreuse. L'établissement de Morges, l'un des plus grands du lac de Genève, s'étendait, parallèlement au rivage, sur une longueur de près de trois kilomètres et une largeur de 50 mètres. Ces restes d'habitations ont été constatés dans les lacs de Zurich, de Constance, de Genève, de Neuchâtel, de Bienne, de Morat et dans quelques autres plus petits. On les retrouve dans les lacs de la Savoie. Les *palafittes* sont des habitations lacustres existant dans les lacs du nord de l'Italie et analogues à celles de la Suisse.

« Les habitations lacustres de l'âge de pierre ont fourni des fragments de poterie très grossière et à cuisson imparfaite; elles s'étendaient sur tous les lacs de la Suisse. Celles de l'âge de bronze existaient dans la partie occidentale et le centre de la Suisse : elles étaient ordinairement situées à une grande distance du rivage, dans des eaux plus profondes, et étaient plus solidement construites. Les poteries, plus variées et plus soignées dans leur exécution que celles de l'âge de pierre, étaient faites avec la roue. Quant aux matières mêmes du bronze, le cuivre et l'étain, il fallait qu'elles fussent

apportées par le commerce, puisqu'elles n'existent point en Suisse. Les pfahlbauten ont diminué graduellement en nombre, depuis l'âge de la pierre, jusqu'à celui du fer, où il n'en existait plus que dans les lacs de Bienne et de Neuchâtel. Pendant ce dernier âge, les formes des armes et des instruments étaient différentes; les poteries, plus soignées, étaient ornées de diverses couleurs, et le verre apparaissait pour la première fois. Sous la domination romaine, les habitations lacustres n'étaient plus que des exceptions, et elles durent disparaître tout à fait peu de temps après. » (D'Archiac, *Paléontologie stratigraphique.*)

Les habitations lacustres de l'Irlande sont désignées sous le nom de *crannoges*. C'étaient des îles artificielles, composées de terres et de pierres soutenues par des pilotis. Quelques-unes pouvaient servir de forteresse. On y a trouvé d'énormes amas d'ossements qui ont été exploités comme engrais. Elles datent de l'âge de pierre; mais elles ont été habitées et modifiées jusqu'au dix septième siècle, ainsi que le démontrent les débris que l'on y rencontre.

« Si nous poursuivons maintenant ces études dans le nord de l'Amérique, nous verrons combien sont différents les travaux exécutés par les premiers peuples qui ont habité le bassin du Mississipi, combien les traces de ces premiers établissements humains, dans ce que nous appelons le nouveau monde, diffèrent de ce que nous venons de décrire dans une partie de l'ancien; néanmoins, nous n'avons aucune preuve de la contemporanéité des uns et des autres; mais nous voyons qu'ils ont cela de commun d'être antérieurs à toute tradition historique, à toute reproduction de la pensée par des signes conventionnels et postérieurs aux derniers phénomènes quaternaires. Les monuments les plus anciens

de l'industrie humaine aux Etats Unis sont des constructions ou plutôt des ouvrages en terre, plus ou moins élevés, plus ou moins étendus, de formes très diverses, et souvent bordés en dehors par un fossé. Ils manquent dans les Etats qui longent l'Atlantique au nord est; dans l'Etat de New York, ils commencent à être plus nombreux; au delà des Alleghanies et à l'est du Mississipi, ils s'étendent depuis les bords des grands lacs, au nord, jusqu'aux plages du golfe du Mexique, au sud. » (D'Archiac, *Paléontologie stratigraphique.*)

CHAPITRE VI.

PRINCIPALES LOIS QUI ONT PRÉSIDÉ AUX RÉNOVATIONS ORGANIQUES.

Changements successivement apportés dans les faunes et les flores. — Evolution terripétale. — Dépendance mutuelle des organismes; influence des milieux. — Passage insensible entre les faunes. — Intermittence apparente dans la vie des espèces. — Théorie des colonies de M. Barrande. — Loi de la spécialité des fossiles; exceptions apparentes observées dans les Alpes et la Bohéme. — Accroissement dans la variété des formes organiques. — Continuité des types; espèces prophétiques. — Théorie du développement progressif. — Tendance vers les types actuels. — Variations dans la quantité de vie à la surface du globe.

Changements successivement introduits dans les faunes et les flores. — Je me propose, dans ce chapitre, d'énumérer quelques unes des lois générales qui ont présidé aux évolutions de l'organisme pendant les temps passés. Ces lois ont fonctionné simultanément. Tantôt elles ont tendu vers des buts différents et leurs effets se sont alors trouvés annihilés ou amoindris; tantôt, au contraire, elles ont exercé une action concomittante et leurs effets se sont manifestés dans de plus larges proportions ; dans tous les cas, elles ont été soumises à d'assez nombreuses exceptions.

Une partie des changements successivement introduits dans les faunes et les flores est en relation avec les modifications apportées dans le relief de chaque contrée et, par suite, dans son climat. On conçoit qu'aux périodes alternativement marines et continentales que présente l'histoire géologique d'un

pays correspondent des flores et des faunes alternativement marines et lacustres. C'est en tenant compte de cette influence du milieu sur les manifestations organiques que G. Bronn a établi sa loi de l'évolution terripétale.

Une autre partie de ces changements est en rapport avec des lois spéciales et indépendantes des milieux où la vie se développe. Quelques unes de ces lois nous sont complétement inconnues; d'autres ont pu être signalées ou entrevues; mais leur raison d'être, ou, en d'autres termes, leur essence, se dérobe à nos recherches.

Presque toutes les lois qui ont présidé aux transformations de la flore et de la faune reconnaissent donc deux causes; mais il est toujours difficile de faire la part d'influence qui revient à chacune d'elles. Ces deux causes sont : l'une, l'action toujours plus ou moins appréciable exercée sur les êtres organisés par le milieu où ils vivent; l'autre, la nature plus ou moins mystérieuse ou, si l'on veut, l'essence même des forces qui déterminent les rénovations organiques. Il est permis de penser que l'accord le plus complet a toujours existé entre ces deux causes, et que, par exemple, à chaque renouvellement des faunes et des flores, les êtres organisés, au moment de leur création, se sont trouvés par leur nature en harmonie avec le milieu où ils étaient appelés à vivre.

L'étude des circonstances dans lesquelles les rénovations organiques se sont effectuées est basée sur l'axiome suivant : *pendant toute la durée des temps géologiques et pendant l'époque actuelle, la vie a toujours été soumise, sous les rapports anatomique, physiologique et climatologique, aux mêmes conditions de développement.*

Évolution terripétale. — « Les modifications principales qu'eurent

à subir les conditions extérieures d'existence des organismes consistaient sans doute essentiellement dans la division de l'océan universel en plusieurs mers, en bassins méditerranéens, en lacs caspiens; dans l'émersion d'îles qui s'agrandissaient ou même se fondaient les unes avec les autres pour former des continents; dans le soulèvement des chaînes de montagnes, etc. Parallèlement à cette transformation de l'écorce terrestre, le monde organisé présentait des modifications analogues. La population de la mer, primitivement toute pélagique, se combina avec une population littorale, puis avec une population terrestre, mais exclusivement côtière, puis enfin avec des populations continentales variant avec les contrées de plaines et les contrées de montagnes. C'est cette série de phénomènes que nous désignons sous le nom d'*évolution terripétale*. Soit par la série successive des organismes, soit par la transformation de ses caractères, même dans les cas où les causes de transformation nous restent inconnues, cette évolution se montre à nos yeux comme une loi de développement tout à fait générale que nous nommons la *loi terripétale*. Comme, en général, les habitants des côtes sont caractérisés par un degré d'organisation plus élevé que les habitants des profondeurs des mers, et les habitants des terres par un degré d'organisation plus élevé que les habitants des eaux, cette loi est intimement liée avec un développement progressif. » (G. Bronn, *Lois d'évolution du monde organique*.)

Dépendance mutuelle des organismes; influence des milieux. — L'évolution terripétale est la preuve la plus remarquable, mais non la seule, de l'influence exercée sur les transformations de l'organisme par les circonstances extérieures. Nous en citerons d'autres exemples dans le cours de ce chapitre.

Parmi les causes extérieures qui exercent une influence sur l'ordre de succession des faunes et des flores, il faut placer aussi les effets résultant de la dépendance mutuelle des organismes. « Une multitude de plantes et d'animaux qui, soit sous le rapport de leur nourriture, soit sous celui de leur habitation, sont forcément liés à certains genres ou même certaines espèces de végétaux, ne pouvait naturellement apparaître qu'à la suite de celles-ci. Les animaux et les végétaux inférieurs sont souvent moins étroitement liés à d'autres organismes que d'autres plus élevés dans la série animale ou végétale. L'apparition tardive des angiospermes est sans contredit de toutes les causes celle qui a eu le plus d'importance pour retarder l'apparition de la plupart des animaux terrestres, tels que les insectes, les oiseaux, les mammifères. Parmi la multitude d'animaux qui vivent aux dépens des angiospermes, il en est, en outre, un grand nombre qui sont dépendants les uns des autres; ainsi les vertébrés carnivores, les insectes coprophages ou parasites, etc., ne pouvaient apparaître qu'à la suite de certains autres animaux. » (G. Bronn.)

Passages insensibles entre les faunes; espèces communes. — Les changements dans le règne organique se sont effectués d'une manière insensible; on peut dire qu'il n'existe pas d'hiatus dans la série des faunes et des flores, lorsqu'on ne considère que leur ensemble. Cette absence de lacune résulte de plusieurs causes : le passage des espèces d'une époque à l'autre, l'hybridation exercée entre les espèces sur le point de disparaître et celles de création récente, enfin l'influence de la loi de continuité des types.

« Les modifications de l'organisme sont lentes, graduelles dans l'ensemble, et néanmoins continues, de telle sorte qu'en

aucun point de la série le renouvellement n'a été complet à un moment donné. Quelques êtres anciens ont toujours assisté à la naissance de ceux qui devaient leur succéder. A aucun instant, la manifestation des forces vitales n'a été suspendue. Jamais la chaîne des êtres n'a été rompue, car de nouveaux anneaux se formaient avant que tous les autres fussent brisés. Il y a loin, comme on le voit, de ces déductions des faits actuellement connus à ces hypothèses si gratuites de destruction complète, puis de renouvellement ou de créations de toutes pièces de l'organisme, hypothèses que nous devons reléguer actuellement parmi les fables de la géogénie ancienne.» (D'Archiac.)

Bien qu'il existe des passages insensibles entre les diverses faunes qui se sont succédé, il ne faut pas conclure de là que les causes essentielles qui déterminent l'apparition et la disparition des espèces soient constamment en activité. Il est des périodes plus ou moins longues pendant lesquelles la puissance créatrice reste à l'état de repos; il est, au contraire, des moments où elle exerce son action avec une grande énergie. C'est pour cela que les espèces ayant vécu pendant une époque donnée ont pour la plupart apparu et disparu en même temps.

Chacune des anciennes faunes a toujours compris un certain nombre d'espèces existant déjà lorsque la totalité de cette faune se montrait à la surface du globe. Ces espèces d'avant-garde ne datent pas toutes de la même époque; elles ont été créées, à divers intervalles, d'abord isolément, puis en groupes de plus en plus nombreux à mesure que se rapprochait le moment où la faune dont elles devaient faire partie allait être complète. Je comparerais volontiers la manière dont chaque faune s'est constituée au phénomène dont nous sommes les témoins lorsque, à l'approche de la nuit, le ciel se couvre d'étoiles; les

plus brillantes et les plus rapprochées de nous apparaissent d'abord une à une, de sorte qu'il est possible de les compter; puis elles se montrent en plus grand nombre; enfin, vient une heure où, l'obscurité étant complète, le firmament s'illumine dans toute son étendue.

L'édition du bel ouvrage de Murchison, *Siluria,* publiée en 1859, contient un tableau général de la distribution verticale des espèces siluriennes de l'Angleterre. A l'aide de ce tableau on reconnaît que sur les 494 espèces dont se compose la faune du terrain silurien supérieur en Angleterre, 115 existaient déjà pendant le dépôt du terrain silurien inférieur ; sur ces 115 espèces, 7 seulement se rencontrent dans la formation de Llandeilo, représentant à peu près les deux premiers tiers du terrain silurien inférieur ; les 108 autres sont réparties d'une manière à peu près égale entre les deux formations de Caradoc et de Llandovery, c'est à dire dans le troisième tiers du terrain silurien inférieur. M. Barrande a constaté des faits absolument semblables en étudiant le mode de distribution des espèces dans le terrain silurien de la Bohême. Enfin, les calculs qui ont servi de base à sir Lyell pour sa classification du terrain tertiaire mettent également en évidence les diverses phases que parcourt une faune avant d'être définitivement constituée. Sir Lyell a calculé que le rapport entre le nombre des espèces actuellement vivantes et celui des espèces appartenant aux époques anciennes était de 0,03 pour le terrain tertiaire inférieur, 0,17 pour le terrain tertiaire moyen, de 0,35 à 0,50 pour le terrain tertiaire supérieur.

Intermittence apparente dans la vie des espèces.— Certaines espèces, après une première apparition, disparaissent pour se montrer de [illegible] lorsqu'une ou plusieurs époques se sont écoulées.

Cette disparition momentanée n'est sans doute qu'apparente ; elle consiste probablement dans un changement de station effectué sous l'influence de causes diverses, telles qu'une modification dans le climat ou dans la configuration du sol. A la suite de ces changements, ces espèces ont vécu dans d'autres localités où leurs débris n'ont pas encore été rencontrés, soit parce que ces localités n'ont pas été suffisamment explorées, soit parce que les circonstances n'ont pas été favorables à la fossilisation de ces débris. La réapparition de ces espèces a coïncidé avec le retour des mêmes conditions vitales qui existaient au moment et dans la localité où ces espèces avaient été créées.

Ce phénomène d'intermittence dans la vie des espèces a été d'abord signalé par MM. J. Morris et J. Lycett, etc., après la découverte de divers faits constatés par ces observateurs, en étudiant les faunes jurassiques de l'Angleterre. En 1837, ces faits ont été exposés et commentés par G. Bronn dans le chapitre de son ouvrage sur les *Rénovations organiques* intitulé *Colonies anachroniques*. En 1856, M. D'Archiac, après avoir dressé un tableau de la faune jurassique de l'Angleterre, faisait, à propos de ces phénomènes d'intermittence et d'apparition anticipée d'espèces, les remarques suivantes :

« Le nombre des espèces qui ont été rencontrées dans deux étages à la fois est de 134. 58 sont communes à la grande oolite et à l'oolite inférieure, malgré le laps de temps qui a dû s'écouler entre elles pour le dépôt du *fuller's earth* qui les sépare ; par conséquent, 58 espèces de l'oolite inférieure disparaissent durant le dépôt du *fuller's earth* pour reparaître dans la grande oolite. Si l'on retranche ces 58 espèces, il ne reste que 76 espèces entre les dix autres divisions du terrain jurassique combinées deux à deux. — Les relations inti mes du fo-

rest-marble et du Bradford-clay avec la grande oolite, comme celles du Kelloway-rock avec l'Oxford-clay, sont rendues sensibles par 11 espèces communes aux premiers et 8 aux seconds; il en est de même des 6 espèces du cornbrash et de la grande oolite. Une particularité qui n'est certainement pas due à l'incertitude des déterminations spécifiques ni au hasard des recherches locales, parce que nous la verrons se reproduire plus loin, c'est la relation du coral-rag avec la grande oolite et l'oolite inférieure, relation établie par 6 espèces communes avec chacun de ces étages. L'autre espèce commune avec le cornbrash donne 13 espèces qui se retrouvent à la fois au dessus et au dessous de l'Oxford-clay. — Le nombre des espèces qui ont été rencontrées dans trois étages à la fois est de 37; celui des espèces communes à quatre étages est de 9. Les rapports que les espèces communes à deux étages seulement nous faisaient apercevoir entre la faune du coral-rag et celles qui avaient précédé l'Oxford-clay et le Kelloway-rock, se trouvent confirmés par les espèces communes à trois et quatre étages; ils démontrent la réapparition d'une partie de la faune du groupe oolitique inférieur, ou de 30 espèces, vers la fin de la période du groupe moyen. ».

A l'aide du tableau qui se trouve dans l'ouvrage de M. Murchison sur le système silurien, on a pu signaler, en 1859, le phénomène d'intermittence pour 24 espèces de la formation de Caradoc disparaissant dans la formation de Llandovery pour reparaître dans le terrain silurien supérieur.

Déjà, en 1841, M. Barrande avait observé en Bohême des faits d'intermittence se produisant dans des conditions particulières; quelques années après, cet éminent géologue était conduit à formuler sa *théorie des colonies*.

Si l'on tient compte des faits exposés dans le paragraphe

précédent, on ne peut s'empêcher d'adopter le principe formulé de la manière suivante par le géologue américain, M. Dana : « *Le commencement d'un âge se trouve dans le milieu d'un âge précédent, et les signes de l'avenir qui se dispose à paraître doivent être considérés comme prophétisant cet avenir.* »

Théorie des colonies de M. Barrande.— Le terrain silurien de la Bohême, d'après la classification adoptée par M. Barrande, forme un trinome dont les trois termes ont reçu de lui les noms de faune première, faune seconde et faune troisième. Le terrain correspondant à la faune seconde est celui où M. Barrande a observé les faits sur lesquels il a établi sa théorie des colonies ; ce terrain se divise en cinq assises qu'il désigne en leur affectant les expressions *d*1, *d*2, *d*3, *d*4, *d*5. Au point de vue paléontologique, le phénomène des colonies est un cas particulier du phénomène plus général de l'intermittence des espèces; la différence consiste surtout en ce que les espèces d'avant-garde sujettes à disparaître momentanément, au lieu d'être mélangées avec d'autres espèces, se montrent sur certains points groupées entre elles. Voici comment M. Barrande s'exprime à ce sujet : « Nous avons reconnu le caractère prophétique de ces espèces, non seulement dans leurs formes considérées au point de vue zoologique, mais encore dans les circonstances singulières de leur gisement dans la série stratigraphique. Nous avons été surtout frappé par ce fait, que ces espèces ne sont pas disséminées au hasard parmi celles de la faune seconde, mais qu'elles sont, au contraire, exclusivement cantonnées dans les enclaves de certaines roches représentant d'une manière également prophétique les roches dans lesquelles devait apparaître plus tard notre faune troisième. »

Les principales colonies décrites par M. Barrande sont au nombre de trois, qu'il nomme : *colonies Zippe, Haidinger* et *Krejci.* Elles se trouvent sur les bords du bassin silurien de la Bohême, la première, dans la formation *d4*, les deux autres dans la formation *d5*. La colonie Zippe ne consiste qu'en une seule couche calcaire de 25 centimètres d'épaisseur, tandis que cette roche manque presque totalement dans la colonie Haidinger, et ne se retrouve que sous des apparences très différentes dans la colonie Krejci ; ces deux dernières colonies, épaisses l'une de 12^{m},50 et l'autre de 21 mètres, sont en majeure partie composées de schistes noirs avec graptolites. Sous le rapport paléontologique, les trois colonies ne présentent pas de moindres contrastes. La colonie Zippe renferme 17 espèces qui appartiennent toutes à la classe des brachiopodes et à celle des trilobites ; c'est la seule qui, outre les espèces de la faune troisième, présente des espèces de la faune seconde ; celles-ci y sont au nombre de 4. Les espèces de la colonie Haidinger sont seulement au nombre de 8 ; elles se retrouvent toutes dans la faune troisième et font partie du groupe des graptolites. La colonie Krejci, renfermant 40 espèces et des représentants de six classes, est la plus riche des trois, circonstance en harmonie avec sa position stratigraphique ; elle se trouve, en effet, la plus rapprochée du terrain silurien supérieur.

En 1860, M. Barrande donnait des colonies de Bohême l'interprétation suivante, qu'il avait déjà proposée en 1851 : « Nous concevons que, durant la période de temps mesurée par la faune seconde, notre faune troisième avait commencé à exister dans des parages plus ou moins rapprochés ; non pas dans la plénitude de son développement, mais avec un certain nombre de diverses classes, constituant les premiers éléments de son

évolution zoologique. Entre la Bohême et ces parages inconnus, des communications accidentelles se sont ouvertes pendant la seconde moitié de la durée de la faune seconde. Par suite de la combinaison de circonstances favorables, un certain nombre d'espèces de la faune troisième se sont introduites à diverses reprises dans notre bassin, et elles s'y sont cantonnées dans des lieux restreints sans doute les plus convenables pour leur existence. Elles y ont vécu durant un certain temps, sans se mêler en général avec les formes de la faune seconde occupant les parages voisins. »

L'interprétation donnée par M. Barrande est surtout basée sur des changements dans la configuration du sol, changements qui auraient eu pour résultat de favoriser les immigrations des espèces en établissant une communication entre le bassin de Bohême et les mers voisines. Elle ne peut expliquer l'intermittence des espèces des colonies; on ne voit pas pourquoi, en effet, ces espèces, après avoir été introduites dans le bassin de Bohême, n'auraient pas continué d'y vivre jusqu'au moment où la faune troisième devait s'y installer définitivement. L'hypothèse proposée par M. Barrande peut rendre compte de l'arrivée des espèces dans la région qui a fait l'objet de ses beaux travaux; mais elle est superflue ou incomplète. N'est-il pas plus simple d'admettre que les espèces des colonies se sont montrées dans le bassin silurien de la Bohême sous l'influence des mêmes causes qui les ont placées dans les régions voisines et que ce bassin était, lui aussi, un centre de création indépendant ?

Dans la théorie des colonies, il y a deux faits à considérer : 1° celui que l'on observe sur divers points du globe et qui, en Bohême comme partout ailleurs, résulte des mêmes causes : c'est l'apparition anticipée, et suivie d'intermittence, des espèces;

2° celui qui semble s'être produit plus particulièrement en Bohême et qui, par conséquent, demande une explication spéciale : c'est la concentration des espèces prophétiques dans des enclaves limitées dans le sens vertical comme dans le sens horizontal. Le problème se ramène donc, en ce qui concerne les colonies, à expliquer et cette concentration des espèces prophétiques sur des points déterminés et leur isolement des espèces contemporaines destinées à s'éteindre avant elles. La solution de ce problème, M. Barrande l'a donnée, mais d'une manière trop implicite, en faisant remarquer que les roches qui renferment les espèces des colonies étaient, elles aussi, des roches prophétiques; elles annonçaient quelle serait plus tard la constitution pétrographique du terrain silurien supérieur. « Dans le phénomène complexe auquel nous avons donné le nom de *colonie,* » dit M. Barrande, « il y a deux phénomènes distincts, quoique liés ensemble par une intime connexion, savoir : un phénomène sédimentaire ou stratigraphique consistant dans le dépôt des ampélites qui contrastent avec les roches schisteuses ou quartzeuses, renfermant la faune seconde; et, en outre, un phénomène paléontologique dans l'apparition sporadique et transitoire de certains êtres qui ne font pas partie de cette faune. » Selon nous, l'un de ces phénomènes, le premier, joue seul le rôle de cause, et l'autre celui d'effet. On a déjà mentionné dans cet ouvrage, et notamment à la page 81, tome III, des exemples de cette influence exercée par la nature des roches sur le caractère des fossiles qu'elles renferment.

Le terrain silurien inférieur de Bohême se compose d'une masse puissante de schistes et de quarzites, et c'est lorsque les roches ampélitiques et calcaires se montrent exceptionnellement dans cette masse qu'apparaissent les espèces du terrain silurien supérieur. M. Barrande a constaté lui même l'existence

de ce fait dans toute l'Europe; il a montré que les schistes ampélitiques entrent dans la composition du terrain silurien inférieur, et qu'alors ils renferment fréquemment les graptolites et les fossiles du terrain silurien supérieur. Ainsi, dit-il, les colonies de Bohême qui se présentent avec des circonstances singulières et locales, n'offrent réellement qu'un cas particulier des phénomènes stratigraphiques et paléontologiques qui ont eu lieu à diverses reprises dans la zone silurienne du centre de l'Europe, durant l'existence de la faune seconde. Nous ferons remarquer que la théorie des colonies, ramenée à ces proportions, devient un phénomène général auquel l'explication locale, proposée par M. Barrande en 1851, n'est plus applicable. Le mot ambigu de *colonie*, cause essentielle du désaccord qui a régné entre M. Barrande et ses adversaires, achève de devenir impropre; il ne saurait y avoir de colonie, lorsque rien ne démontre l'existence d'une métropole.

Le phénomène, désigné à tort ou à raison sous le nom de colonies, est un nouvel exemple de la loi de corrélation entre les êtres organisés et les milieux qu'ils habitent. La théorie des colonies, comprise ainsi que nous venons de le faire, est, en définitive, parfaitement admissible, mais elle perd beaucoup de son importance; en outre, elle cesse de mériter le reproche qu'on lui a adressé de constituer une hérésie paléontologique.

Un des motifs qui ont porté quelques géologues à contester l'existence des colonies de Bohême, c'est la pensée que le mélange des fossiles pouvait provenir d'accidents stratigraphiques comparables à ceux que l'on observe dans les Alpes. Ed. Forbes, et, plus récemment, M. Krejci, professeur à Prague, se sont faits les interprètes de cette manière d'expliquer les colonies de Bohême. Mais le terrain silurien de ce pays, stratifié en fond de bateau, présente une allure trop régulière pour se prêter à cette

explication. Les bancs renfermant les colonies sont en stratification parfaitement concordante avec ceux où elles se trouvent enclavées. « Si mon regrettable ami, » dit sir Lyell en faisant allusion à l'opinion émise par Ed. Forbes, « eût visité les environs de Prague, il aurait appris que les assises dans cette région ne présentent point la confusion de celles des Alpes; promptement, il aurait vu que l'ordre de superposition, à travers la contrée dont il s'agit, n'est nullement obscur et il aurait acquis la conviction qu'un observateur aussi habile que M. Barrande n'avait pu se tromper. »

Loi de la spécialité des fossiles; exceptions apparentes observées dans les Alpes et en Bohême. — Dans les changements successivement introduits dans les faunes et les flores, chaque espèce, ou, si l'on veut, chaque forme organique, ne se montre qu'une fois; lorsqu'elle disparaît de la scène de la vie, c'est pour toujours; la nature ne refait pas un moule qu'elle a brisé. Il en résulte que chaque fossile, ne devant se rencontrer que dans certains terrains, peut servir à les caractériser; c'est cette relation nécessaire entre les terrains et les débris des corps organisés qu'ils renferment, que l'on désigne sous le nom de *loi de la spécialité des fossiles.*

On a cité, comme infirmant cette loi, le mélange de bélemnites et de plantes de la période houillère dans quelques terrains des Alpes; mais j'ai déjà rappelé que ce mélange n'était qu'apparent. (Voir tome II, page 538.) L'exception apportée à la loi de la spécialité des fossiles par la théorie des colonies de M. Barrande est également plus apparente que réelle. (Voir *posteà*, page 390.)

Accroissement dans la variété des formes organiques. — Les classes,

les familles, les genres dont se compose une faune sont d'autant plus nombreux que cette faune appartient à une période plus récente. Dans ce fait général, on doit d'abord reconnaître l'influence du milieu où la vie se développe et le résultat d'une diversité de plus en plus grande dans les stations vitales. Pourtant l'étude comparative des faunes qui ont appartenu à des époques différentes, mais qui ont vécu dans des conditions biologiques identiques, démontre aussi que cet accroissement dans la variété des formes organiques est également en relation avec l'essence même des forces qui président aux rénovations des flores et des faunes; en d'autres termes, quand bien même les conditions biologiques n'auraient pas varié à la surface du globe, ces forces auraient fonctionné de manière à produire, à elles seules, cette diversité sans cesse croissante dans l'aspect des plantes et des animaux vivant à la surface du globe.

Continuité des types ; espèces prophétiques ou d'avant-garde ; espèces d'arrière-garde. — Lorsqu'un type quelconque paraît à la surface du globe, il persiste pendant un temps plus ou moins long ; les graptolites ont eu une durée très courte, puisqu'ils n'ont vécu que pendant la période silurienne, tandis que le genre *Nautilus*, qui date de la période silurienne, est encore représenté dans les mers actuelles. Mais, dans la presque totalité des cas, *depuis le moment où un type zoologique a apparu pour la première fois, jusqu'au moment où il a disparu tout à fait, il n'y a point eu d'interruption dans son existence ; en d'autres termes, chaque type n'a paru et disparu qu'une fois.* Cette loi se vérifie dans l'histoire des genres, des familles, des ordres et des classes. L'expérience a démontré que, lorsqu'on a signalé quelque lacune, lorsqu'un genre, par exemple, manquait dans

un étage après avoir été retrouvé dans les formations supérieures et inférieures, il arrivait presque toujours que cette interruption cessait d'exister devant une investigation plus complète.

Certains groupes offrent, dans leur histoire géologique, la particularité suivante qui constitue, jusqu'à un certain point, une exception à la loi qui vient d'être énoncée. Après une première et courte apparition, ils cessent subitement d'être représentés à la surface du globe, et ne reparaissent qu'après une période trop longue pour que l'absence de leurs débris dans les terrains correspondant à cette période ne puisse pas être admise comme un fait probable. On désigne quelquefois sous le nom d'*espèces prophétiques* ou de *fossiles précurseurs* ces formes qui se montrent isolées longtemps avant le groupe zoologique auquel ils se rattachent. Ils constituent, pour ainsi dire, l'*avant-garde* du corps d'armée qui, plus tard, prendra possession d'une partie de la surface du globe. On peut, d'un autre côté, considérer comme l'*arrière-garde* de cette armée les espèces qui se montrent longtemps après que le type auquel elles appartiennent a disparu. Les mammifères du trias, de l'oolite inférieure et des couches de Purbeck sont des espèces prophétiques; le genre *Ceratites*, qui a reparu pendant un instant après un intervalle de temps qui comprend toute la période jurassique et une partie de la période crétacée, est une espèce d'arrière-garde.

Théorie du développement progressif.— L'ensemble des plantes et des animaux forme une série où l'on voit l'organisation prendre une complication de plus en plus grande et devenir de plus en plus parfaite. Cette série constitue ce que l'on a désigné sous le nom « d'échelle des êtres. » Elle commence

avec les infusoires réduits à une simple cellule et se termine à l'homme. Elle se décompose en séries partielles qui marchent parallèlement les unes aux autres, mais qui ne présentent pas la même étendue et ne se trouvent pas placées au même niveau; elle n'en laisse pas moins dans l'esprit l'idée d'une perfection sans cesse croissante.

On a prétendu que l'ordre dans lequel les êtres se succèdent d'un degré à l'autre de l'échelle animale ou végétale est précisément celui de leur apparition à la surface du globe. La *théorie du développement progressif*, affirmée par certains faits, se trouve démentie par d'autres. Elle est vraie lorsque l'on compare la faune première à la faune actuelle, et surtout lorsqu'on se rappelle que l'homme est le dernier être qui se soit montré à la surface du globe. On est encore porté à lui donner une importance réelle lorsque l'on voit les invertébrés apparaître avant les vertébrés, les poissons avant les reptiles, les reptiles avant les oiseaux, et, sans doute aussi, les oiseaux avant les mammifères. Enfin, l'ordre dans lequel se sont opérées les transformations de la flore concorde d'une manière assez exacte avec la doctrine du développement graduel. Mais cette doctrine perd son caractère de généralité lorsqu'on examine ce qui s'est passé pour les trois embranchements d'invertébrés comparés entre eux, pour chacune des classes dont ces embranchements se composent, et même pour deux au moins des classes de vertébrés considérées isolément.

La doctrine du développement graduel, déjà en partie infirmée par des exceptions assez nombreuses, perd encore de sa valeur lorsque l'on fait la part de l'influence exercée par les circonstances extérieures. Les poissons ont pu apparaître avant les autres vertébrés, soit parce que leur organisation est moins parfaite, soit parce que, lorsqu'ils ont été créés, le domaine

des eaux était plus étendu que celui de la terre ferme. (Voir *antè*, page 361, loi terripétale.)

Tout en réduisant à sa véritable valeur la loi du développement progressif, il est juste de lui reconnaître une existence indépendante. Mais, ainsi que je l'ai dit dans l'introduction de cet ouvrage, « le développement progressif est une chose bien plus réelle lorsque l'on a en vue le perfectionnement intellectuel des êtres plutôt que leur perfectionnement organique. Dans le règne végétal, on voit les plantes à organes de reproduction cachés (cryptogames) céder la place à celles qui ont des fleurs proprement dites, mais peu apparentes (gymnospermes), et celles-ci être remplacées à leur tour par des végétaux à fleurs très visibles, souvent très grandes et presque toujours parées de couleurs brillantes et variées (angiospermes et monocotylédonées). Dans le règne animal, on voit aux animaux muets succéder ceux qui peuvent faire entendre un cri, puis l'homme qui a le don de la parole. La somme d'instinct appartenant aux animaux dont les types ont successivement apparu a été sans cesse en croissant, et il est venu un moment où un nouveau pas a été fait dans cette voie par la création de l'être intelligent, ayant conscience de lui même, de ce qui l'entoure et d'une providence. La venue de l'homme marque non seulement l'arrivée d'un animal plus élevé dans l'échelle des êtres, mais aussi et surtout le règne de la pensée et de la civilisation sur notre planète. »

Relation entre l'ordre d'apparition des divers types d'animaux et les phases de leur développement embryonnaire. — « Quelques naturalistes ont cru remarquer, dans certains types zoologiques, que si l'on forme une série dont le terme inférieur corresponde

aux premiers animaux créés de ce groupe, et le terme supérieur à ses représentants les plus récents, cette série sera parallèle à celle que l'on construirait au moyen des diverses formes que prend successivement l'embryon des êtres les plus parfaits. Cette loi est loin d'être démontrée d'une manière générale, mais il est quelques cas dans lesquels elle paraît prendre une certaine réalité. Je ferai remarquer d'abord qu'il ne s'agit ici que de séries partielles, et que la loi est inapplicable à l'ensemble du règne animal. Voici quelques exemples qui feront comprendre sa portée. On sait que tous les poissons, comme tous les vertébrés, ont d'abord la colonne épinière à corps indivis et réunis sous la forme de corde dorsale; beaucoup de poissons anciens conservent, à l'état adulte, ce caractère embryonnaire, comme les esturgeons et quelques autres le font encore dans le monde actuel. — L'étude de l'embryologie des poissons montre aussi que, dans l'origine, toutes les nageoires impaires sont réunies en une seule qui entoure le corps et la queue. L'existence de nageoires très nombreuses ou peu séparées, et en particulier de plusieurs anales dans quelques poissons anciens, peut aussi être considérée comme un caractère embryonnaire. Les échinodermes supérieurs (oursins) sont, dans leur jeune âge, fixés par un pédicelle qu'ils perdent plus tard. Ils ont été précédés sur la surface de la terre par les échinodermes pédicellés (crinoïdes). » (Pictet.) Je rappellerai que c'est M. Agassiz qui, le premier, a attiré l'attention des paléontologistes sur les relations qui viennent d'être signalées.

Tendance vers les types actuels. — Les faunes et les flores se sont successivement transformées de manière à présenter des types de plus en plus analogues à ceux de l'époque actuelle. La faune mésozoïque se compose presque exclusivement de formes ani-

males ou végétales dont l'aspect nous est habituel, tandis que la faune paléozoïque offre, pour ainsi dire, un caractère d'archaïsme très prononcé. Le passage entre ces deux faunes si différentes s'est effectué d'une manière insensible. « Si nous examinons les coquilles du terrain tertiaire, nous ne verrons presque que les formes qui nous sont familières ; tandis que, si nous étudions les faunes des terrains anciens, les formes nouvelles et inconnues nous paraîtront bien plus fréquentes, et nous serons, pour plusieurs d'entre elles, tentés de les désigner sous les noms de bizarres ou d'anormales, parce qu'elles échappent à certains rapports auxquels nous sommes habitués. Si l'on veut, par une analyse plus sévère, préciser cette première impression, on peut dire que les espèces des couches les plus récentes appartiennent, pour la plupart, aux genres dans lesquels se répartissent les animaux vivants ; tandis que, si l'on descend davantage dans l'écorce de la terre, on est obligé de créer plus de genres nouveaux pour grouper les formes des êtres ; et que même il existe, dans les terrains les plus anciens, des conditions d'organisation encore plus différentes, qui exigent la formation de familles ou d'ordres nouveaux. » (Pictet.)

Un corollaire de cette loi que l'on peut formuler sous la désignation de *loi de tendance vers les types actuels*, c'est que *les faunes de deux époques quelconques offrent d'autant moins d'analogie que ces deux époques sont séparées l'une de l'autre par un plus large intervalle.*

Variations dans la quantité de vie à la surface du globe. — Que doit-on entendre par *quantité de vie?* D'après M. Flourens qui, je crois, s'est servi le premier de cette expression, ce serait simplement, il me semble, le nombre des êtres vivants. Il nous paraît que l'expression « quantité de vie » porte avec elle une

idée plus complexe. La quantité de vie dépend, outre du nombre des individus, de la masse de matière organique mise en œuvre par la force vitale. Pour mesurer la quantité de vie, il ne faut pas considérer, comme unités de même ordre, le *Protococcus* et le palmier, l'infusoire et le lion. Il est encore naturel de tenir compte du nombre des espèces, car le volume et le nombre des individus étant les mêmes, la quantité de vie paraîtra plus considérable là où les formes organiques, au lieu de se répéter uniformément, se rapporteront à plusieurs types.

Apprécier la quantité de vie d'après le nombre des espèces, c'est d'ailleurs s'appuyer sur une donnée d'une grande utilité, parce que le nombre des individus est le plus souvent en raison du nombre des espèces. Plusieurs individus appartenant à des espèces différentes peuvent en quelque sorte se superposer sur un même point et vivre réunis là où ne pourrait exister qu'un seul individu d'une même espèce. Dans une forêt, composée d'arbres de la même essence, la nature, pour y multiplier la vie, a recours à des espèces différentes susceptibles de croître à l'ombre de celles qui atteignent un grand développement. Les stipes des palmiers, dit Humboldt, s'élèvent à une grande hauteur et forment au dessus de la forêt directement en contact avec le sol une forêt aérienne. Ajoutons que plus le nombre des espèces est grand et plus il y a de chances pour que toutes les stations reçoivent toujours une population nombreuse en harmonie avec elles. Il est une dernière considération qui doit nous faire admettre l'énumération des espèces comme fournissant un des trois éléments sur lesquels l'appréciation de la quantité de vie doit être basée; c'est que nous avons par là le moyen le plus simple et le plus sûr d'évaluer approximativement la quantité de vie à chacune des époques géologiques. Les animaux et les plantes, ayant toujours été soumis

aux mêmes chances de destruction, le nombre des espèces composant la flore et la faune de chaque époque doit nous permettre de les comparer les unes aux autres sous le rapport de la quantité de vie; mais il n'en serait pas de même si l'on voulait établir un parallèle entre une époque géologique quelconque et l'époque actuelle; on conçoit combien l'avantage se trouverait toujours et peut-être à tort en faveur de notre époque.

Parmi les causes qui contribuent à rendre plus grande la quantité de vie, il faut placer en première ligne la chaleur et, pour la vie terrestre, la richesse du sol et l'humidité. On voit la vie décroître de l'équateur aux pôles, des plaines au sommet des montagnes, parce que la chaleur décroît en même temps. Elle est considérable dans les pays dont le climat est chaud et humide et dont le sol est fertile. Dans ces contrées privilégiées, la vie appelle la vie, car tous les êtres organisés vivent aux dépens les uns des autres et se nourrissent de matière organique. C'est de la richesse du sol que dépend beaucoup la quantité de vie; là où il est impropre au développement des végétaux, la vie animale ne peut s'établir, et, selon l'expression de Humboldt, il en résulte « des lacunes sur le tapis animé que la nature a étendu sur le corps nu de la terre. »

La quantité de vie pendant les premiers temps géologiques était d'abord égale à zéro. A partir du commencement de l'ère cambrienne, elle a été en augmentant, puis, après avoir atteint une certaine valeur, elle ne semble pas s'être modifiée d'une manière bien sensible jusqu'à l'époque actuelle. En exprimant cette opinion, je me place à un point de vue général. Diverses causes, dépendant les unes du mode d'action des forces créatrices, les autres des conditions biologiques, ont par intervalles appauvri ou enrichi les faunes et les flores.

Dans un avenir très éloigné, mais facile à prévoir, la surface de notre planète deviendra de plus en plus impropre au développement de l'organisme : la quantité de vie ira en diminuant et finira par être de nouveau égale à zéro. Je comparerai volontiers ces variations dans la quantité de vie aux changements apportés à la vitesse d'un train de chemin de fer ; cette vitesse, d'abord nulle, croît lentement, puis reste uniforme, sauf les moments où diverses circonstances viennent accidentellement l'accélérer ou la ralentir; enfin, à l'arrivée, elle diminue progressivement, puis le train s'arrête.

Pour se faire une idée exacte des variations que la quantité de vie a subies pendant les temps géologiques et subira dans les temps à venir, il suffit d'apprécier à leur juste valeur les changements qui ont été ou qui seront successivement apportés aux conditions vitales. Prenons, par exemple, la température qui exerce une si grande influence sur le développement de l'organisme. Peu après la première solidification de la croûte du globe, la température était encore trop élevée pour que les êtres organisés pussent exister ; il viendra un temps où, au contraire, elle se trouvera trop basse : ce sera lorsque les glaces des deux régions polaires, étendant de plus en plus leur domaine, iront se rencontrer dans la région équatoriale, où les neiges éternelles des massifs montagneux les auront précédées ; alors le globe, recouvert d'une nappe continue de glace, sera complétement dépourvu d'habitants. Entre ces deux états extrêmes, également impropres à la vie, il y a eu une époque où la quantité de chaleur répartie à la surface du globe n'était ni trop forte ni trop élevée et se trouvait telle qu'à conditions égales l'organisme aurait pu atteindre son maximum de développement, si d'autres causes n'avaient agi en sens contraire. C'est surtout en diminuant l'étendue des zones et des régions où

les êtres organisés peuvent vivre que l'abaissement de la température contribue à diminuer la quantité de vie. L'époque à laquelle il vient d'être fait allusion est donc bien antérieure à l'ère jovienne et à la période indéterminée pendant laquelle les glaces éternelles ont commencé à prendre possession des régions polaires. A mesure que la terre avancera en âge, les conditions de température seront de moins en moins favorables au développement des êtres organisés.

Lorsque la terre ferme ne consistait qu'en quelques îles éparses çà et là, les êtres organisés avaient les eaux océaniennes pour habitat presque exclusif : la faune et la flore devaient alors être d'une grande pauvreté. Mais, tandis que l'abaissement de la température tendait à diminuer la quantité de vie, l'extension des masses continentales tendait à l'accroître en rendant plus variés les milieux où la vie peut se manifester et en augmentant le nombre des espèces. L'extension des masses continentales amenait en même temps un développement plus grand dans les lignes vitales (1).

Il viendra un moment où l'affaiblissement progressif du foyer de chaleur et de lumière existant dans le soleil, ainsi

(1) Nous avons reconnu l'existence, autour de la terre, d'une *zone vitale*; on peut y distinguer aussi des *lignes vitales*, c'est à dire des lignes le long desquelles la vie est à son maximum, et va ensuite en décroissant à droite et à gauche, d'un côté vers le sommet des montagnes, de l'autre vers les profondeurs de l'océan. Ces lignes ne sont autres que celles qui séparent le sol émergé du sol immergé. Près de ces lignes, dont les cours d'eau sont les prolongements dans l'intérieur des terres, se trouvent les riches plaines d'alluvion, les embouchures des fleuves et la zone maritime littorale où les êtres organisés sont si multipliés. En s'éloignant de cette ligne, les animaux marins trouvent une pression plus grande, moins de lumière, moins de chaleur et moins de substances alimentaires amenées par les fleuves et les rivières; les animaux terrestres rencontrent une végétation de moins en moins abondante, un sol de plus en plus accidenté et un climat de plus en plus froid.

que l'absorption de l'eau et de l'air atmosphérique par la masse terrestre, agiront d'une manière de plus en plus défavorable sur la quantité de vie.

D'après ce qui précède, on peut prévoir une époque où la vie ne sera plus possible à la surface du globe ; alors se réalisera cet événement que l'on désigne vulgairement sous le nom de « fin du monde. » Ce nouvel état de choses ne viendra nullement à la suite d'un cataclysme ; il sera la conséquence d'actions qui opèrent sans discontinuité, mais avec une lenteur telle qu'elles ont produit des effets à peine sensibles depuis le commencement des temps géologiques. Le soleil, recouvert d'une croûte épaisse, n'enverra plus ni chaleur ni lumière à la surface du globe, entièrement glacée et plongée dans l'obscurité la plus complète. L'absence d'air et d'eau achèvera de rendre impossible l'existence des êtres organisés. En même temps, la disparition de l'atmosphère aura pour résultat la cessation de tout bruit et de tout mouvement ; le silence le plus absolu règnera partout et rien ne viendra déranger le sable laissé sur les rivages des dernières mers desséchées.

LIVRE TREIZIÈME.

GÉOLOGIE SYSTÉMATIQUE.

CHAPITRE I.

DÉTERMINATION DES TERRAINS. — NOMENCLATURE GÉOLOGIQUE.

Les terrains au point de vue de la géologie systématique. — Objet de la géologie systématique. — Comment on détermine l'ordre de superposition des terrains, et comment on les caractérise. — W. Smith, Alex. Brongniart, etc.— Les terrains sont caractérisés par leurs fossiles.— Difficultés que l'on rencontre dans l'application de ce principe. — Emploi de la méthode pétrologique. — Détermination de l'âge des roches éruptives. — Nomenclature et terminologie géologiques.

Les terrains au point de vue de la géologie systématique. — D'une manière générale, on donne le nom de *terrain* à toute portion plus ou moins considérable de l'écorce terrestre formée de roches que rattache entre elles un caractère commun ordinairement indiqué par le mot qui accompagne celui de terrain. Les expressions — *terrains argileux, calcaire, granitique,* etc., — *terrains lacustre, marin, de transport,* etc., — *terrains dénudé, tourmenté,* etc., — font voir que ce caractère commun à plusieurs roches est fourni par leur nature

minéralogique, ou par leur origine, ou par quelque circonstance particulière.

En géologie systématique, on désigne plus spécialement sous le nom de « terrain » *tout ensemble de roches éruptives ou sédimentaires formées dans le même intervalle de temps.* Si l'on suppose la série des âges géologiques partagée en un certain nombre de périodes, à chacunes d'elles se rattachera un terrain dont l'importance, ou, en d'autres termes, l'épaisseur totale, sera, à conditions égales, en relation avec la durée (voir tome I, page 218) de la période correspondante.

Objet de la géologie systématique.— La géologie doit, comme toute science ayant pour objet l'étude des êtres organisés, se résumer dans une classification rationnelle, classification qui, d'ailleurs, reste toujours susceptible de recevoir les modifications ultérieures rendues nécessaires par les progrès de la science. Le travail, dont cette classification est le but, conduit à un double résultat : il marque, pour chaque terrain, la place qu'il occupe dans l'échelle géologique et dans l'écorce terrestre; en même temps, il détermine l'ordre chronologique des nombreux événements antérieurs à la venue de l'homme sur la terre ou, du moins, à la tradition écrite ou parlée. Par conséquent, les mêmes recherches, qui conduisent à la connaissance de la structure et de la composition de l'écorce terrestre, apportent chaque jour une page de plus à l'histoire physique du globe.

Une classification générale des terrains doit faire l'objet du premier et du dernier chapitre d'un traité de géologie. Elle vient se placer à la fin de l'ouvrage comme une conclusion naturelle; mais il faut encore qu'elle le précède, afin de rendre plus précise l'exposition des faits ou des théories et afin aussi

de montrer la relation qui existe entre le caractère d'un phénomène géologique et l'époque où il s'est manifesté. Une classification générale des terrains est comparable à l'énoncé qui précède et qui suit la démonstration d'un théorème; cette démonstration peut elle même se comparer au corps de l'ouvrage.

L'exposé des principes qui servent de base à la géologie systématique comprend trois parties sur lesquelles je vais successivement porter mon attention. J'indiquerai : 1° comment on caractérise chaque terrain et comment on trouve sa place relative dans la série géognostique; 2° comment, une fois qu'il est caractérisé, on le dénomme; 3° enfin, dans le chapitre suivant, j'expliquerai comment, à l'exemple du naturaliste qui avec les espèces fait des genres, puis des familles et enfin des classes, le géologue réunit les terrains en groupes de plus en plus importants.

Détermination de l'âge relatif d'un terrain. — Si l'on se représente tous les terrains actuellement connus superposés les uns aux autres, on aura un vaste ensemble que l'on désigne sous le nom d'*échelle géologique*. Au premier abord, il semble que, pour connaître la place qu'un terrain occupe dans cette échelle ou, en d'autres termes, son âge relatif, le moyen le plus direct et le plus sûr serait de le suivre pas à pas et de retrouver son point de jonction avec d'autres terrains préalablement étudiés et pris pour termes de comparaison. Mais on conçoit que ce moyen exigerait une grande perte de temps; d'ailleurs, dans la plupart des cas, on ne peut pas le mettre en pratique. Les terrains éprouvent dans leur allure et dans tous leurs caractères généraux des modifications rapides qui dépistent bientôt le géologue. Même lorsque ces terrains conservent un

aspect uniforme, ils sont soumis à des solutions de continuité complètes, les unes datant de l'époque où ils se sont constitués, les autres postérieures à leur dépôt. Les terrains déposés en même temps, mais dans des bassins différents, sont séparés les uns des autres par des massifs correspondant aux continents qui limitaient ces bassins. Les dénudations produites par les phénomènes d'érosion, les larges vallées comblées par les terrains de transport, les vastes dépressions occupées par les eaux de la mer ou recouvertes par des strates plus récentes que celles que l'on considère, déterminent autant de solutions de continuité, les unes réelles, les autres apparentes, toutes postérieures au dépôt du terrain qui formait jadis un même ensemble et qui est aujourd'hui divisé en lambeaux distincts.

Pour déterminer l'âge relatif des terrains, de même que pour les caractériser, il faut avoir recours aux fossiles. Une faune E, par exemple, rencontrée dans une formation, sert non seulement à la caractériser, mais aussi à démontrer qu'elle est postérieure ou antérieure à d'autres formations renfermant les débris des faunes A, B, C, D,.... F, G, H, etc. On a pu, en effet, après des tâtonnements multipliés, établir l'ordre de succession des fossiles maintenant décrits et celui des faunes qu'ils constituent en se groupant entre eux.

Il n'est aucune contrée qui possède la série complète des formations géologiques; mais les pays voisins les uns des autres présentent toujours à l'observateur une ou plusieurs formations du même âge qui permettent d'établir entre ces pays des termes de comparaison. C'est en mettant ces termes de comparaison à profit qu'il a été possible de constater dans quel ordre s'étaient succédé les faunes et les flores. Les recherches entreprises pour arriver à ce but ont été basées sur les deux principes suivants : l'un de ces principes ne s'est ja-

mais trouvé en défaut jusqu'à présent, l'autre est un axiome dont on ne saurait contester l'évidence.

1° *Les végétaux et les animaux dont on retrouve les débris dans les strates sédimentaires n'ont pas occupé en même temps la surface du globe; ils ne s'y sont montrés que les uns après les autres et s'y sont succédé d'une manière régulière.* (Voir livre XI, chap. VI.)

2° *L'ordre dans lequel les terrains se sont constitués n'est autre que celui de leur superposition, les plus anciens se trouvant, sauf les cas de renversement postérieur à leur origine, au dessous des plus récents.*

On voit que la recherche de l'ordre de superposition des terrains réclame le concours simultané de la paléontologie et de la stratigraphie. Dans cette recherche, la méthode purement pétrographique peut quelquefois aussi trouver son emploi; il est évident, par exemple, que tout terrain est postérieur à celui dont il renferme les débris.

Les terrains sont caractérisés par leurs fossiles. — Comment la science a-t-elle pu se reconnaître en présence de cette longue série de couches superposées les unes aux autres comme les feuillets d'un livre? Faire cette question, c'est rappeler le problème que la géologie, à l'honneur de l'intelligence humaine, a complétement résolu. Le livre, que le géologue a pour mission de traduire, semblait d'abord ne porter aucun caractère sur ses pages laissées en blanc; toutes les strates varient bien de nature, mais les variations dans l'aspect et la composition des strates n'ont pas toujours une relation nécessaire avec leur âge et ne peuvent servir à les caractériser au point de vue chronologique. Un examen attentif a conduit à la découverte de caractères empreints sur un grand nombre des pages

du livre de la nature; ces caractères, à demi effacés, ces hiéroglyphes, se sont trouvés reconnaissables et dès lors il a été permis de lire dans ce livre que les générations antérieures n'avaient pas osé ou n'avaient pu entr'ouvrir (1).

Le phénomène de la sédimentation s'accomplit dans une zone où la vie anime des êtres infiniment nombreux; il n'est donc pas étonnant que chaque strate puisse renfermer des débris plus ou moins abondants de corps organisés. D'un autre côté, l'espèce ayant, comme l'individu, une existence limitée et l'organisme étant sujet à varier constamment dans ses manifestations sans reproduire les mêmes types, il en résulte que chaque strate ne peut renfermer que les débris d'animaux et de plantes ayant vécu à l'époque où elle se formait. Par conséquent, ainsi que je l'ai déjà dit (tome I, page 211), chaque couche porte son millésime avec elle; et les fossiles qu'elle contient nous fournissent le moyen de la reconnaître. *Toutes les strates offrant les mêmes fossiles sont réputées synchro-*

(1) « L'extérieur de la terre, dit Bronn, est un grand livre; ses couches en sont les feuillets; les pétrifications ou les fossiles, les lettres de l'alphabet; le contenu, l'histoire de la création, dont aucun témoin oculaire ne nous a transmis le récit. Ces feuillets sont plus ou moins mêlés, déchirés ou altérés et les caractères que la nature y a tracés plus ou moins effacés. Il faut donc les restaurer souvent par la pensée comme les papyrus et les palimpsestes de l'antiquité humaine, relativement si moderne. L'alphabet de ce livre est resté longtemps inconnu, sans interprétation réelle, comme les hiéroglyphes de l'Egypte, comme les caractères cunéiformes de la Perse; le merveilleux, l'impossible, l'absurde même, ont tour à tour été invoqués pour son explication. Ce ne fut que lorsqu'on chercha à l'interpréter en le comparant avec celui de la nature actuelle que l'on vit que la langue des anciens âges de la terre, que les anciennes lois qui avaient dû présider au développement des êtres organisés, ne différaient pas de celles de nos jours. Les caractères seuls de l'alphabet avaient, comme à l'ordinaire, subi avec le temps quelques modifications dont il était d'ailleurs facile de suivre et d'apprécier l'importance, et que nous devons chercher à préciser. (D'Archiac, *Cours de Paléontologie.*)

niques, quelles que soient 1° leurs différences d'aspect et de composition et 2° les solutions de continuité qui les séparent, profondes vallées, océan et hautes montagnes.

Tel est le moyen d'investigation dont la géologie se sert lorsqu'elle divise l'écorce terrestre en parties superposées dans un ordre déterminé qui n'est autre que celui de leur formation. Sa méthode est certaine dans son principe, mais elle offre, dans son application, des difficultés de détail que je vais mentionner.

L'espèce, en zoologie comme en botanique, est bien loin d'être nettement définie. Il en résulte un grave embarras pour le géologue qui, recherchant la situation relative de divers dépôts, trouve dans les uns et les autres des formes organiques très rapprochées, mais non rigoureusement identiques. Il ne sait si les différences qu'il constate doivent le conduire à l'adoption d'espèces distinctes et, par conséquent, à la séparation des terrains qu'il compare, ou si ces différences doivent être considérées comme insignifiantes et ne s'opposant pas à ce qu'on réunisse ces formes organiques en une seule espèce et, par suite, ces terrains en un seul horizon paléontologique. On voit par là que la manière dont l'espèce doit être comprise est très importante, car de l'idée plus ou moins juste que s'en fait le géologue dépend l'exactitude plus ou moins grande de ses appréciations dans l'étude comparée des strates sédimentaires.

Lors des premiers temps géologiques, les êtres organisés avaient un mode de distribution bien plus uniforme que de nos jours; chaque espèce occupait une aire bien plus vaste. Aussi les mêmes fossiles peuvent-ils, dans les terrains anciens, caractériser des dépôts situés à de grandes distances les uns des autres et placés sous des latitudes très différentes. A mesure que l'on s'éloigne des premières périodes, les lignes isothermes

s'accentuent de plus en plus; les stations, même sur des points rapprochés, se différencient davantage (1). Ces variations dans les conditions vitales se reflètent dans les caractères des êtres organisés, et ce n'est qu'après de longs tâtonnements qu'il est permis au géologue d'établir le synchronisme de formations qui n'ont qu'un petit nombre d'espèces communes.

Par suite du mode de répartition des terres et des mers pendant la période tertiaire, les formations datant de cette période sont séparées les unes des autres par des espaces très étendus correspondant aux continents qui limitaient les bassins où ces formations se déposaient. Rarement, pour constater la situation relative de stratès situées dans des régions différentes, on peut avoir recours au procédé qui consiste à suivre leur prolongement jusqu'au point où elles se rencontrent. Par suite d'une variété plus grande dans les conditions biologiques, les faunes, pour un même horizon géognostique, varient beaucoup d'un point à un autre; des terrains appartenant à la même époque n'ont pas toujours absolument la même faune et des terrains différents par leur âge peuvent posséder des fossiles communs. Ce qui est vrai pour les formations plus anciennes que le terrain tertiaire l'est à un plus haut degré pour ce terrain lui même. En comparant entre eux des terrains réputés synchroniques, il faut consulter toute la faune que chacun d'eux renferme et non quelques fossiles isolés, à moins que l'expérience n'ait démontré que ces fossiles appartiennent à des *espèces guides*, c'est à dire à des espèces très caractéristiques ne se

(1) C'est ainsi que la mer Rouge et la Méditerranée, bien que séparées par l'isthme de Suez seulement, sont habitées par des espèces différentes; lorsque les dépôts que ces mers reçoivent seront émergés, des strates synchroniques, bien que ne présentant pas les mêmes fossiles, se montreront sur des points très rapprochés les uns des autres.

rencontrant pas dans deux étages à la fois. Cette nécessité de ne s'en rapporter à un seul fossile que dans une certaine mesure, lorsqu'il s'agit de déterminer un terrain, est suffisamment justifiée par ce qui a été dit (*antè*, pages 362 et suivantes) sur la persistance des espèces pendant deux ou plusieurs époques consécutives.

L'étude systématique du terrain tertiaire présente un autre genre de difficultés résultant de ce que ce terrain se compose de formations marines et de formations lacustres placées sur le même niveau géognostique. Les animaux qui vivent dans les eaux douces sont, en effet, entièrement différents de ceux qui vivent dans les eaux salées. Si les termes de comparaison entre les terrains lacustres et les terrains marins de la série tertiaire ne font pas absolument défaut, c'est grâce au développement pris par la faune des animaux terrestres et surtout des mammifères. Les débris des animaux à respiration aérienne ont été indifféremment entraînés dans les mers et les lacs, et ce sont eux qui, dans un grand nombre de cas, permettent d'établir le synchronisme de terrains dont la faune n'offrirait sans cela aucun caractère commun.

La gloire d'avoir doté la géologie de son moyen d'investigation le plus puissant revient surtout à W. Smith, né à Churchill (Oxfordshire) en 1769, mort en 1839. « W. Smith, dit M. Marcou, avait été élevé pour la profession d'arpenteur et d'ingénieur des mines. Il commença à observer et à étudier les strates dès 1788, en parcourant les localités où il était appelé par les devoirs de son état. Mais ce fut comme directeur des travaux pour la construction du Somersetshire Coal Canal, qu'il eut l'occasion de faire les découvertes qui l'ont fait appeler à juste titre le père de la géologie anglaise. Ne connaissant aucun des savants de l'époque, il ne pouvait communiquer les

idées nombreuses qui se heurtaient dans sa jeune tête, et dont il ne comprenait pas alors toute la valeur, se contentant de prévenir ses ouvriers de la nature du terrain qu'ils avaient à couper. Agé seulement de vingt six ans, et sans autre maître que la nature et son propre génie d'observation, W. Smith reconnut que *chaque strate a été successivement le fond de la mer, et qu'elle renferme dans son sein les monuments pétrifiés des races d'être organisés qui vivaient alors*, et de plus il reconnut que, le long de la section de son petit canal, chaque « strate contenait des restes fossiles d'êtres organisés spéciaux » à chacune d'elles, et que par leur moyen on peut, dans » certains cas douteux, reconnaître et identifier une couche, et » la distinguer d'autres entièrement semblables, mais placées » dans d'autres parties de la série stratigraphique » Ces deux découvertes contiennent toute la géologie des strates; ce sont les deux embryons d'où est sortie la stratigraphie telle qu'elle existe aujourd'hui. Ainsi, dès 1795, W. Smith avait dérobé à la nature un de ses secrets les plus impénétrables; faute d'occasion de communiquer ses découvertes, il les conserva secrètes jusqu'en 1799 (1). »

(1) « En 1799, W. Smith fit la connaissance du Rév. Benjamin Richardson, qui habitait alors Bath, où il possédait une très belle collection de fossiles du pays, qu'il avait recueillis lui même. Très versé dans l'histoire naturelle, enthousiaste et libéral, Richardson connaissait parfaitement tout le pays qui avait été étudié par W. Smith; seulement ses vues sur les fossiles ne s'étendaient pas au delà de ce qu'il en avait appris dans les livres publiés jusqu'alors, et il n'avait pas la moindre idée des lois de la superposition des strates, et de la connexion qui existe entre les formes organiques fossiles et l'ordre des strates. D'un autre côté, W. Smith avait des connaissances extrêmement bornées sur la véritable nature des fossiles et sur leurs relations avec les types actuellement vivants. Du contact de ces deux intelligences, ainsi préparées, résulta une étincelle électrique qui fit briller dans toute sa pureté et montra en

En disant que la gloire d'avoir doté la géologie d'un de ses principes fondamentaux revient « surtout » à W. Smith, je dois rappeler la part qui, dans cette découverte comme dans toutes celles de l'esprit humain, appartient à d'autres savants.

même temps toute la portée des observations que W. Smith venait de faire et d'accumuler si patiemment.

» Richardson ne voulut pas d'abord croire W. Smith lorsque celui-ci lui assura que, dans le district de Bath et même à de grandes distances environnantes, cette loi, savoir : que les mêmes strates étaient toujours rencontrées dans le même ordre de superposition et contenaient toujours les mêmes fossiles caractéristiques, était très générale. Pour le convaincre, W. Smith lui proposa d'explorer le terrain, et un nouveau et savant associé, le Rév. Joseph Townsend, s'étant joint à eux, on se mit en route. On visita beaucoup de localités différentes, et partout les prédictions de W. Smith se vérifièrent, et les deux amis de W. Smith se rendirent devant l'évidence des faits.

» Un jour, après avoir dîné ensemble à la maison de Townsend, un des membres de ce digne et à jamais respectable triumvirat, proposa d'écrire sous forme de tableau (*Tabular view*) les points principaux des découvertes de W. Smith, tels qu'ils venaient de les vérifier ensemble. Richardson prit la plume et écrivit, sous la dictée de W. Smith, les différentes couches dans leur ordre de succession en commençant par la craie et les numérotant dans une série continue jusqu'à la houille. Au dessous de la houille proprement dite, ils ne connaissaient pas encore l'ordre de superposition des strates. Ils ajoutèrent dans une colonne spéciale, à la suite de la description des strates, une liste des fossiles les plus remarquables qu'ils avaient recueillis en place et dans le sein même des roches. Après avoir arrangé ce tableau, chacune des personnes présentes en prit une copie, sans prendre d'engagements d'aucune espèce quant à l'usage que chacun pouvait en faire, et de cette manière il a été distribué et a circulé à un grand nombre d'exemplaires manuscrits, et il est resté pendant longtemps comme le type et l'autorité pour les descriptions et l'ordre de superposition des strates aux environs de Bath.

« W. Smith est un des exemples les plus frappants de l'oubli de ses contemporains ; créateur de l'une des trois branches dont se compose la géologie, il a vécu oublié, pauvre, dans la misère même ; les hommes ne sont jamais venu le trouver dans sa modeste retraite ; c'est à peine si, sur les dernières années de sa vie, il a reçu quelques attentions d'un petit nombre de ses confrères et une faible pension gouvernementale, donnée sans dignité, sous forme d'aumône arrachée par la sollicitation de quelques amateurs. » (Marcou.)

Il est juste de rappeler que, dès 1762, un géologue allemand nommé Fuchsel disait, à propos des terrains compris entre le Hartz et le Thuringerwald, que certaines couches étaient caractérisées, non seulemeut par leur nature minéralogique, mais aussi par les débris organiques qu'elles contenaient. Cette opinion se trouve formulée dans deux ouvrages publiés par Fuchsel, l'un en 1762, l'autre en 1775, et dont l'existence semble avoir été ignorée de la plupart de ses contemporains; ce n'est qu'en 1830 que M. Keferstein les a fait connaître.

En outre, si l'on réfléchit que l'idée formulée par W. Smith ne fut pas publiée dans un travail régulier avant 1815 et que *l'Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris* date de 1808, il est permis d'accorder à Alex. Brongniart une part de l'honneur que l'on attribue à W. Smith. Voici comment M. d'Archiac s'exprime à ce sujet: « Au point de vue de la distribution des corps organisés fossiles dans les différentes couches, le travail de Cuvier et d'Alex. Brongniart ouvrait à la science, dans notre pays, une voie à peine indiquée, et lui imprimait en même temps une marche plus sûre, semblable à celle que W. Smith suivait de l'autre côté du détroit, et en s'appuyant sur le même principe. On ne peut trop insister sur ce service rendu par les auteurs de *l'Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris*, et nous verrons même l'un d'eux dépasser dans cette direction, par la hardiesse de ses vues, tout ce que l'on avait fait jusque là dans le reste de l'Europe. Dans les travaux exécutés en commun, il est souvent difficile d'apprécier exactement la part qui revient à chaque auteur, et c'est même un sujet assez délicat à traiter pour que la critique s'en abstienne; mais ici la tâche est très simplifiée, car l'un d'eux a été, en quelque sorte, au devant de cette recherche. Cuvier, en effet, en rendant une éclatante justice à

son savant collaborateur, a reconnu que la plus grande part de leur ouvrage revenait à Alex. Brongniart. Tout nous prouve que ce dernier est l'auteur du principe dont il fit, quelques années après, de si remarquables applications. Maintenant, devons-nous chercher à qui appartient la priorité de ce principe, appliqué en même temps en France et en Angleterre? Nous croyons à la simultanéité et à l'indépendance de la découverte des deux côtés du détroit. Tout semblait en effet préparé pour que les germes depuis longtemps semés se développassent simultanément sur plusieurs points. C'est ainsi que le calcul intégral prit naissance en Allemagne pendant que la méthode des fluxions voyait le jour sur les bords de la Tamise, et que Leibnitz eut aux yeux de la postérité la même gloire que Newton; de même la relation des faunes avec l'ancienneté des couches doit, suivant nous, faire autant d'honneur à Alex. Brongniart qu'à W. Smith qui eut aussi pour précurseur l'abbé Giraud-Soulavie. »

L'abbé Giraud-Soulavie est l'auteur d'une *Histoire naturelle de la France méridionale* publiée en 1780. Dans cet ouvrage, il range dans un *premier âge* les fossiles du Vivarais, dont on ne trouve plus les analogues vivants; ils appartiennent à ce qu'il appelle la *pierre calcaire primordiale*; ce sont des ammonites, des bélemnites, des térébratules, des gryphites, des entroques; etc. Au dessus de ce calcaire primordial viennent les calcaires secondaires de l'auteur, où il signale des fossiles d'espèces éteintes comme dans les précédentes, mais ici associées à d'autres qui auraient leurs analogues vivantes. Son *troisième âge* comprend aussi une roche calcaire avec des coquillages d'espèces récentes dont les descendants vivent encore dans nos mers. Les *schistes arborisés* constitueraient les dépôts d'un *quatrième âge*, mal défini à cause de la difficulté qu'a

eue l'auteur pour établir toujours leurs relations avec les calcaires. Dans le *cinquième* sont rangés des poudingues, des brèches avec des restes d'éléphant. « Soulavie, fait observer M. d'Archiac après avoir ainsi résumé sa classification des terrains du Vivarais, avait une idée très exacte de la succession des êtres organisés dans le temps qu'il a formulée le premier avec des exemples à l'appui; on ne lui a pas rendu toute la justice que ses travaux méritaient; il a été un de ceux que l'opinion générale déshérite sans qu'on sache pourquoi. »

Emploi de la méthode pétrologique dans la détermination des terrains. — Les fossiles nous fournissent le moyen le plus sûr, ordinairement le plus commode et toujours le seul rationnel, pour reconnaître et caractériser les terrains. Mais, bien qu'il n'y ait pas entre l'âge d'une formation et sa composition pétrographique une relation nécessaire, on peut, pour atteindre plus facilement ce but, tenir compte de la nature des roches qui constituent le terrain que l'on étudie. Chaque terrain conserve sur une étendue plus ou moins grande la même allure et le même aspect; une fois que son âge a été déterminé d'une manière précisé, sur un point quelconque, par la méthode paléontologique, on peut le suivre à la piste dans toute la contrée où l'on se trouve sans qu'il soit nécessaire pour le reconnaître de se livrer à chaque instant à la recherche des fossiles. Le botaniste, pour nommer une plante, n'a pas toujours besoin d'en étudier les organes et de faire usage de sa loupe. La méthode empirique, qui consiste à caractériser les terrains d'après leur constitution pétrographique, a été d'abord la seule possible et la seule employée; on est encore obligé d'y avoir recours lorsque les terrains appartiennent à la série azoïque ou se montrent dépourvus de fossiles sur des espaces plus ou moins étendus.

Détermination de l'âge des roches éruptives. — Les procédés, que je viens d'indiquer comme devant être mis en œuvre lorsqu'on veut déterminer l'âge des terrains, s'appliquent exclusivement aux roches de sédiment parce qu'elles sont seules fossilifères. Mais chaque terrain, considéré au point de vue de la géologie systématique, comprend en même temps des roches sédimentaires et des roches éruptives.

Les relations stratigraphiques et géognostiques existant entre les roches éruptives et les roches sédimentaires permettent ordinairement d'arriver à la connaissance de l'âge des unes quand on sait l'âge des autres. J'ai déjà mentionné (tome II, page 145) deux des moyens qu'on emploie pour fixer l'époque à laquelle une roche éruptive s'était rapprochée de la surface du globe. J'ai rappelé qu'une roche éruptive était toujours postérieure aux roches sédimentaires dont les débris sont engagés dans sa masse et antérieure à celles où ses propres débris se trouvent contenus. Il me reste à dire quelques mots des indications qui peuvent être fournies par l'étude des relations stratigraphiques existant entre une roche éruptive et les terrains avec lesquels elle est en contact.

Les roches éruptives sont évidemment postérieures aux strates qu'elles ont plus ou moins métamorphisées ou dérangées de leur situation première. Même lorsque leur arrivée à la surface du globe n'a été accompagnée d'aucune action métamorphique ou dynamique, les roches éruptives doivent encore être considérées comme étant postérieures aux terrains où elles ont pénétré sous forme de filons ou sur lesquels elles se sont répandues en nappes. Ces nappes sont plus anciennes que les terrains qu'elles supportent, à moins qu'elles ne résultent d'un phénomène d'intrusion ayant amené l'intercalation d'un filon couché entre deux strates préexistantes.

Les lignes stratigraphiques, en tendant à coordonner entre eux les phénomènes éruptifs de la même époque, sont également susceptibles de faciliter la tâche du géologue qui recherche l'âge des roches que ces phénomènes ont amenées au jour. Il est probable, par exemple, que les roches éruptives échelonnées le long d'une faille se rattachant au système du Thuringerwald sont du même âge que ce système. Pourtant, ce que j'ai dit sur les directions épigéniques et récurrentes indique assez que cette méthode ne doit être employée qu'avec beaucoup de précaution.

On peut, enfin, quand on recherche l'âge d'une roche éruptive, s'aider des relations qu'on observe entre les roches éruptives elles mêmes et leur appliquer les principes sur lesquels on s'appuie pour déterminer l'âge des filons. (Voir tome I, page 221.)

Nomenclature géologique. — Les principes qui doivent servir de base à la nomenclature géologique ne sont pas encore établis : je doute même qu'ils puissent l'être de longtemps. Sous ce rapport, la géologie est encore placée au point où la botanique se trouvait avant Linné et la chimie avant Lavoisier. Les terrains forment une série linéaire dont chaque terme est trop indépendant de celui qui le précède ou qui le suit, pour qu'il soit permis de les grouper en genres et en espèces, et de leur appliquer la nomenclature binaire créée par Linné. D'un autre côté, les terrains présentent des caractères trop multiples et trop complexes pour qu'on puisse donner à chacun d'eux une désignation qui soit, comme dans la nomenclature chimique, une définition. Aucun terrain, pas plus qu'une contrée quelconque, n'est susceptible de recevoir un nom ayant une signification assez étendue pour exprimer tous les caractères qui lui sont inhérents.

Par conséquent, dans la nomenclature géologique, on doit préférer les noms de terrains qui n'ont aucun sens par eux mêmes ou ceux dont la signification première a été oubliée. A ce point de vue, l'usage des mots étrangers, bien qu'ayant fait l'objet de plusieurs critiques, n'est pas sans quelque avantage, parce que la plupart des personnes qui les emploient ignorent leur signification ou n'en tiennent pas compte.

Il est une autre cause qui rend impossible la création d'une nomenclature géologique établie sur des bases rationnelles et généralement adoptées, c'est que la classification des terrains est elle même loin d'être définitivement fixée; cette classification subit chaque jour des modifications et des perfectionnements dont on ne peut encore prévoir le terme; il faut donc renoncer à la prétention d'affecter à des choses, qui n'ont qu'une existence éphémère, des noms susceptibles de rester pendant très longtemps dans la science.

Afin de donner une idée de la terminologie employée dans la géologie systématique, je rappellerai d'abord qu'un grand nombre des mots dont elle se compose sont empruntés à des noms de villes ou de contrées où les terrains qu'ils servent à désigner présentent leur plus grand développement et se trouvent à l'état de type plus ou moins complet. Exemples: *terrains silurien, oxfordien*, *néocomien*, *parisien*, etc., ainsi nommés parce qu'ils existent respectivement dans le pays des Silures, près d'Oxford, à Neuchâtel, dans les environs de Paris, etc.

Il est aussi beaucoup de terrains dont les noms indiquent la nature ou l'espèce des débris de corps organisés qu'ils renferment; exemples: *couches à lingules, calcaire à gryphées arquées, zone de l'*Ammonites margaritatus, *terrain corallien.*

L'étude des fossiles n'a pris une large place dans la géologie que depuis peu d'années. Pendant longtemps, on a surtout

considéré dans les terrains leurs caractères pétrographiques, et les noms imposés à ces terrains ont été nécessairement empruntés aux roches dont ceux-ci sont formés en totalité ou en majeure partie. Ces noms ont été conservés pour la plupart, mais la signification que l'on accordait à un grand nombre d'entre eux doit être oubliée. Le *terrain oolitique* n'est pas le seul à se montrer composé de roches à texture oolitique, et les calcaires blancs à texture crayeuse se rencontrent non seulement dans le *terrain de la craie blanche*, mais aussi dans d'autres formations. Il arrive même fréquemment que ces désignations pétrographiques tombent entièrement à faux lorsqu'on les emploie loin des contrées où elles ont pris naissance; c'est ainsi que parfois le nom de *terrain de la craie blanche* sert à dénommer des strates synchroniques avec ce terrain, mais exclusivement composées d'argile ou de sable; de même le *terrain houiller*, dans certaines contrées, est, malgré son nom, complétement dépourvu de houille.

Je vais citer quelques uns des nombreux exemples de dénominations empruntées à des caractères autres que ceux qui sont fournis par les fossiles. On appelle *terrain schisteux* la partie du terrain de transition où les schistes abondent; cette dénomination et celle de terrain houiller méritent d'être conservées parce que les schistes proprement dits et la houille sont des roches caractéristiques dont chacune est spéciale à une période. On appelle *trias* un terrain composé en Allemagne, de trois termes : le grès bigarré, le muschelkalk et le keuper; ce mot est définitivement introduit dans la science, mais, en l'employant, il faut oublier son origine, puisqu'on a reconnu que la série triasique se compose dans d'autres pays, d'un, de deux ou de quatres termes. Le mot *grès*, suivi d'une épithète indiquant ordinairement la coloration de la roche,

sert quelque fois à désigner des terrains composés en majeure partie de débris quartzeux; exemples : *grès rouge*, *grès houiller*, *grès vosgien*, *grès bigarré*, *grès vert*, etc.

Certaines dénominations de terrains, telles que celles de *lias*, *terre à foulon*, *crag*, *faluns*, etc., sont des expressions techniques ou locales que les géologues ont généralement admises en oubliant, pour le plus grand nombre d'entre elles, leur véritable signification.

Alc. d'Orbigny avait proposé d'affecter le nom de *terrain murchisonien* à la partie supérieure du terrain silurien. Ce nom n'a pas été adopté et la tentative faite par ce géologue de se servir des noms de savants dans la nomenclature géologique n'a pas eu d'imitateurs. On ne peut que se féliciter de ce résultat lorsqu'on réfléchit au grand nombre de désignations nouvelles que l'esprit de flatterie aurait pu introduire dans la science.

D'autres dénominations de terrains ne sont que l'expression pure et simple de leur ordre de superposition. Il en est ainsi pour les expressions si usitées de *terrains primitif, secondaire, tertiaire, quaternaire;* pour celles de *ancien* et *nouveau grès rouge*, de *grès vert supérieur* et *grès vert inférieur*, etc. Plusieurs savants ont voulu donner une plus grande extension à cette idée d'établir une relation directe entre la nomenclature des terrains et leur ordre de superposition.

D'après ce système, qui n'a encore été appliqué que d'une manière restreinte (notamment par M. Barrande pour le terrain silurien de la Bohême, et par quelques géologues allemands pour le terrain jurassique de leur pays), le nom d'un terrain ne serait autre chose que la lettre de l'alphabet ou le nombre indiquant sa place relative dans l'échelle géologique. Ce système offre, par sa simplicité même, quelque chose de

séduisant. Mais son adoption générale apporterait dans la nomenclature géologique une grande sécheresse et beaucoup de monotonie. Ce qui achèverait de le rendre inadmissible, ce serait l'impossibilité qu'il présenterait de se prêter à de nouvelles intercalations chaque fois que les découvertes des géologues les rendraient nécessaires.

D'après ce qui précède, on voit que la nomenclature et la terminologie géologiques ne sont encore soumises à aucune règle fixe et généralement adoptée. On conçoit que cette absence de toute règle ait pour résultat, à chaque instant, d'introduire dans la science un grand nombre de désignations nouvelles toutes diverses par leur désinence et par les idées qui les ont inspirées, différentes aussi par leur étymologie, car, dans la nomenclature géologique, il n'est pour ainsi dire pas de langue qui ne se trouve mise à contribution. On est en droit d'espérer que, tôt ou tard, l'ordre sortira de ce chaos. Quoi qu'il advienne, je pense que c'est à tort que l'on se plaint de l'invasion de ces désignations nouvelles. L'usage saura sanctionner celles qui offrent quelque utilité ou qui ont été convenablement choisies; les autres n'auront qu'une existence éphémère et seront bientôt oubliées; mais, en attendant, il n'est aucun criterium qui nous mette à même de connaître à l'avance la destinée réservée à chacune d'elles.

Quelques tentatives ont été faites pour établir la nomenclature et la terminologie géologiques sur des bases rationnelles. Le lecteur en trouvera des exemples dans les chapitres suivants; il verra comment on a essayé de mettre plus de symétrie et de régularité dans la division de l'écorce terrestre en terrains, de baser la classification de ces terrains sur une même idée fondamentale et de donner la même désinence aux mots affectés aux groupes de la même valeur.

CHAPITRE II.

GROUPEMENT DES ÉTAGES EN SYSTÈMES, SÉRIES, ETC. — DIVERSES MÉTHODES DE CLASSIFICATION.

Division de l'écorce terrestre en étages. — Définition de l'étage ; comment on évalue son importance. — Groupement des étages en systèmes, séries, etc. — Principes dont l'application doit guider dans le tracé des lignes qui partagent l'écorce terrestre en formations distinctes. — Difficultés que présente l'application de ce principe. — Diverses méthodes de classification. — Méthodes dynamique, géogénique, pétrographique, stratigraphique, orogénique et paléontologique.

Division de l'écorce terrestre en étages. — L'*étage* est en géologie, comme l'espèce en zoologie et en botanique, le point de départ de la classification ou l'unité prise pour terme de comparaison. Mais, pas plus que les zoologistes et les botanistes pour l'espèce, les géologues ne sont d'accord sur l'importance plus ou moins grande qu'il faut donner à l'étage. Tandis que la géologie progresse, les étages se dédoublent en sous-étages qui deviennent à leur tour des étages proprement dits. Le terrain jurassique, par exemple, a perdu, sous un certain rapport, le caractère d'unité qu'on lui avait d'abord accordé; on a reconnu qu'il était en réalité composé d'une série de formations distinctes qu'une observation prolongée rend de plus en plus nombreuses.

D'après le sens qu'il faut, en géologie systématique, attacher au mot « terrain » (*anté*, page 386), l'importance d'un étage doit se mesurer à la longueur présumée du temps qu'a exigé

son dépôt. Dans ce cas, la mesure du temps se ramène elle même à celle de l'épaisseur totale de l'étage. L'appareil sédimentaire, tel que nous l'avons décrit (tome I, page 443), est, en effet, comparable au sablier dont les anciens se servaient pour compter les heures. La partie supérieure du sablier correspond à tout ce qui, dans l'appareil de la sédimentation, est émergé et fournit à l'action sédimentaire les matériaux qu'elle met en œuvre; la partie inférieure où le sable s'accumule est représentée par le bassin qui, dans le même appareil, est recouvert par les eaux et reçoit les débris entraînés des régions voisines.

Le chronomètre dont il s'agit ne donne pas toujours d'indications à l'abri de toute incertitude ou de toute exagération, soit en plus, soit en moins; c'est au géologue à les contrôler avec soin et à faire usage des coefficients de correction que son expérience ou sa perspicacité lui suggèrent. En prenant certaines précautions, l'emploi de ce chronomètre conduit toujours le géologue à des résultats d'une exactitude suffisante. D'un autre côté, il est naturel d'accorder à tous les étages une importance à peu près égale ou, en d'autres termes, à tous les siècles géologiques (*posteà*, page 407) une durée à peu près la même. La conséquence directe et immédiate de ce qui précède est que l'on doit tendre à former des étages ayant, *en moyenne*, une puissance uniforme. Diverses circonstances se sont opposées et s'opposeront longtemps encore à ce que ce principe reçoive toute son application. Les terrains les plus récents et, par conséquent, les plus faciles à observer, ou qui se trouvent dans les pays les plus peuplés et auprès des capitales, dans le bassin de Paris et aux environs de Londres, par exemple, sont ceux dont l'étude est le plus avancée; il ne faut donc pas s'étonner si ces terrains ont été divisés en étages plus nombreux et, par suite, d'une épaisseur moindre. Il en a été de

même pour les terrains riches en fossiles ou très variés dans leur composition pétrographique : sous ce rapport, il existe notamment un contraste remarquable entre le terrain jurassique, dont la faune est si développée et la composition si complexe, et le grès bigarré si pauvre en débris de corps organisés et si uniforme dans sa composition. C'est ainsi que les annales des temps modernes, ou des peuples civilisés, ou des périodes fécondes en événements occupent bien plus de place dans l'histoire que celles des peuples sauvages, ou des peuples anciens, ou des périodes tranquilles. Cette inégalité dans la puissance des étages a l'inconvénient de donner des idées fausses sur la durée de certaines périodes et par suite sur celles des temps géologiques. N'est-il pas d'ailleurs convenable, puisque l'étage est l'unité employée pour terme de comparaison dans les classifications géologiques, de donner à cette unité une valeur constamment la même ?

Le premier résultat que la géologie systématique cherche à atteindre, c'est, avons nous dit, de diviser l'écorce terrestre en parties superposées les unes aux autres appelées *étages*. Ce travail conduit, en outre, à partager les temps passés en périodes à peu près égales dont chacune constitue un *siècle géologique* et correspond à un étage déterminé. Les siècles historiques, en s'ajoutant les uns aux autres, forment les grandes périodes de l'histoire de l'homme ; de même les siècles géologiques déterminent par leur réunion les grandes périodes de l'histoire physique de notre planète. Retrouver l'ordre de succession de ces siècles ou de ces périodes géologiques et apprécier approximativement leur durée, c'est tracer par la pensée, à travers l'écorce terrestre, des lignes plus ou moins accentuées marquant les zones de séparation entre les étages et les groupes d'étages.

Ces lignes de séparation doivent correspondre aux moments où des changements plus ou moins importants se sont effectués à la surface du globe; en d'autres termes, elles doivent passer par les strates qui se déposaient lorsque ces changements étaient en voie de s'accomplir. Ceux-ci sont de divers ordres et chacun d'eux joue un rôle différent dans la classification des terrains. Les uns ont affecté la faune et la flore; d'autres se sont manifestés lorsque des chaînes de montagnes ont surgi, ou lorsque les mers ont déserté les régions qu'elles occupaient pour en envahir d'autres, ou lorsque des modifications ont été apportées aux circonstances qui accompagnent le développement de l'action sédimentaire et des autres phénomènes géologiques. Ces divers changements se sont accusés au sein des strates par des variations plus ou moins brusques dans la nature des fossiles, par des discordances de stratification ou d'isolement et par des modifications dans la nature des terrains. Telles sont les données que le géologue classificateur met à profit; mais, dans l'acomplissement de sa tâche, il rencontre de nombreuses difficultés; je mentionnerai tout à l'heure les principales d'entre elles.

Groupement des étages en systèmes, séries, etc. — L'étage se divise en *sous-étages*, les sous-étages en *assises*, les assises en *bancs* ou *strates*. Ces subdivisions sont, pour ainsi dire, les décimales de l'unité constituée par l'étage lui même. Elles jouent, dans la géologie systématique, le même rôle que les races et les variétés en botanique et en zoologie.

Les étages, en se réunissant entre eux, donnent des unités d'un ordre supérieur auxquelles on peut accorder le nom de *systèmes*. La réunion de plusieurs systèmes constitue une *série*. Des séries on peut passer à des groupes d'une importance de

plus en plus grande. (Voir le tableau de la page 456.) Je dois rappeler pourtant que la valeur absolue ou relative des mots *système*, *série*, etc., n'est pas aussi bien fixée que celle des mots *genre*, *classe*, *embranchement*, employés en zoologie et en botanique.

Dans ce chapitre et le précédent, j'ai comparé entre eux les procédés employés par les sciences naturelles pour classer et dénommer les objets que leur mission est d'étudier. Je ferai, en me reportant dans le même ordre d'idées, une dernière remarque : c'est que, lorsqu'il s'agit de classer, la tâche du géologue est bien plus facile que celle du botaniste ou du zoologiste. Dans ses tentatives pour arriver à un résultat satisfaisant, il n'a jamais à opérer de transpositions, ni à placer au dessous ce qui était au dessus, à droite ce qui était à gauche. Les différences que l'on remarque dans les diverses classifications géologiques ne sont jamais bien considérables ; souvent elles existent autant dans les mots que dans les choses. La série, si pénible à établir en zoologie et en botanique, parce qu'elle n'est pas dans les rapports réels et généraux des choses qu'elles étudient, est toute formée pour le géologue. Celui-ci n'a pas à débrouiller un réseau mis entre ses mains ; il n'a qu'à compter les degrés d'une échelle, et les erreurs qu'il commet sont des erreurs de fait toujours réparables. Le livre est sous ses yeux ; il doit le traduire et non le composer. L'édifice est devant lui : il n'a qu'à étudier son ordonnance ; qu'il prenne ses crayons ; si l'esprit de système n'a pas imprimé à sa pensée une fausse direction, son ébauche sera satisfaisante ; le travail de perfectionnement viendra plus tard, sans qu'il soit nécessaire d'effacer les traits de la première heure. (1)

(1) Afin de donner au lecteur une idée exacte du caractère et de la nature des classifications géologiques, je vais transcrire les lignes suivantes extraites

Diverses méthodes de classification. — On peut porter à six le nombre des principales données que le géologue consulte dans le tracé des lignes qui divisent l'écorce terrestre en parties superposées les unes aux autres : ce sont les données *dynamique*, *géogénique*, *pétrographique*, *stratigraphique*, *orogénique* et *paléontologique*. Les géologues, qui ont eu à formuler des classifications locales ou générales, peuvent se partager en deux groupes. Les uns, obéissant à des idées plus ou moins

du *Cours de Paléontologie* de M. d'Archiac : « Les classifications ne sont que des moyens créés pour suppléer à l'insuffisance de nos facultés, lesquelles ne nous permettent pas de saisir à la fois les rapports des divers éléments d'une science, de tout comprendre, ni de tout retenir. Ainsi une classification est toujours quelque chose de plus ou moins artificiel ; ce que l'on appelle *classe*, *ordre*, *famille*, *genre* ne peut être considéré que comme des abstractions de notre esprit, plus ou moins en rapport avec les objets destinés à aider la mémoire. Il n'y a point de classification dans la nature où tout est si parfaitement ordonné. Ce n'est, en résumé, qu'un instrument de mnémonique d'autant plus parfait qu'il exprime mieux les affinités naturelles des objets auxquels on l'applique et que ceux-ci ont un plus grand nombre de rapports communs. — De même que dans l'histoire des états et des peuples, c'est le temps qui doit servir de base à une classification géologique, car la géologie n'est autre chose que la chronologie ou l'histoire de la terre. Mais comment mesurer le temps et comment le représenter sans expression numérique ? Un terme relatif peut répondre à la question. Le temps et ses divisions sont exprimés physiquement dans la nature par les diverses roches qu'on y voit superposées les unes aux autres. Ces roches sont les images matérielles, non pas des siècles, ce qui serait trop peu, mais des périodes d'un grand nombre de siècles, variable et indéterminé. Les divisions que nous pourrons établir, d'après leurs divers caractères, dans ces couches ou roches ainsi superposées, représenteront les divisions du temps, en unités et fractions d'inégale valeur, suivant que nous le jugerons nécessaire. La classification consistera alors à nous offrir, suivant leur ordre d'ancienneté, les phénomènes de diverses sortes dont ces roches nous conservent les traces ou qu'elles expriment elles mêmes et dont l'ensemble peut constituer ainsi un véritable chronomètre de la terre. Nous n'aurons sans doute jamais, par ce moyen, l'expression absolue du temps, mais nous en aurons une représentation relative et figurée très suffisante pour les besoins de la science.

systématiques, ont employé une de ces données de préférence aux autres, mais comme l'élément auquel ils ont laissé la suprématie n'a pas été le même pour tous, il en est résulté six méthodes au moins de classification. D'autres géologues, pénétrés d'un sage esprit d'éclectisme, ont mis en œuvre tout à la fois les diverses données susceptibles de servir de base à une classification des terrains; ils ont accordé successivement, et suivant les cas, la préférence à celle de ces données qui leur paraissait avoir le plus de valeur. Je vais dire quelques mots de ces diverses méthodes de classification, indiquer leurs avantages ou leurs inconvénients, et mentionner l'appui ou le contrôle mutuels qu'elles doivent se prêter.

Méthode dynamique. — Cette méthode a pour base l'observation des mouvements généraux qui agissent sur l'écorce terrestre en affectant des surfaces plus ou moins étendues et principalement de celui que nous avons distingué sous le nom de mouvement oscillatoire. L'étude de ces mouvements fait connaître les divisions les plus importantes de l'échelle géologique; ils entraînent, en effet, à leur suite un grand nombre d'autres changements qui se manifestent, non seulement dans la configuration du sol et le mode de répartition des terres et des mers, mais aussi dans le climat, la nature des êtres organisés et le caractère des phénomènes géologiques. En un mot, l'emploi de l'élément dynamique a l'avantage de synthétiser pour ainsi dire les autres éléments que nous avons énumérés. Bien que les mouvements généraux de l'écorce terrestre agissent sur elle d'une manière continue, ils ne font réellement sentir leurs effets qu'à de rares intervalles, lorsque, par exemple, le sol sous-marin se trouve définitivement émergé. Chaque fois que de nouveaux dépôts ont recouvert le sol après

un émergement plus on moins long, tout a été profondément changé dans la contrée où ce phénomène a laissé des traces de son action. Ces changements sont rendus parfaitement reconnaissables par de nombreuses discordances de stratification ou d'isolement, par des traces d'érosion sur le sol primitif, et par une variation brusque dans la nature des dépôts ou des fossiles; il peut même arriver qu'une formation lacustre succède à une formation marine et réciproquement. Il en résulte que les lignes de démarcation fournies par les effets des mouvements oscillatoire et ondulatoire doivent être comptées au nombre des lignes magistrales venant se placer entre les principaux groupes de terrains.

C'est en tenant compte des effets du mouvement oscillatoire que j'ai divisé l'ère tellurienne en cinq grandes périodes correspondant à autant d'oscillations dans le sol de la France. (Tom. I, page 222 et 232.)

L'emploi exclusif de la méthode dynamique, telle qu'elle vient d'être définie, ne donnerait pas de lignes de séparation régulièrement séparées par des intervalles égaux; c'est ce qui me conduira, dans un des chapitres suivants, à faire subir à la classification que j'avais d'abord proposée quelques modifications qui auront pour but de la rendre plus symétrique. En admettant même que le mouvement oscillatoire exhausse le sol de la même quantité dans la même durée de temps, il ne s'ensuit pas que les effets perceptibles par nous se manifestent à des intervalles égaux. Aux époques récentes de l'histoire géologique du globe, le sol sous-marin de l'Europe occupait une étendue moindre et se trouvait à une moindre profondeur que lors des époques anciennes. Il en résulte que les périodes d'émergement et d'immergement se sont succédé à des intervalles plus rapprochés; c'est pour cela que la période paléo-

zoïque qui correspond à la première oscillation a eu une durée plus longue que la période proboscidienne qui correspond à la dernière.

L'emploi du mouvement oscillatoire, comme élément de classification, est d'autant plus avantageux, qu'il fournit des résultats s'appliquant à des régions très étendues, à des continents tout entiers, comme l'Europe. Seulement, ses effets, quoique parfaitement accusés sur tous les points, ne se manifestent pas partout de la même manière, puisque, tandis que le sol s'exhausse dans une contrée, il faut, par compensation, qu'il s'abaisse sur d'autres. Lorsque, au commencement de la période liasique, les eaux océaniennes ont achevé d'envahir la majeure partie de la France et de tous les pays voisins, l'affaissement du sol qui a été la cause de cette invasion et qui a marqué le commencement d'un nouvel état de choses, a dû coïncider avec le soulèvement d'autres contrées, en partie encore inconnues et peut être actuellement cachées sous l'océan.

Méthode géogénique. — Le moment pendant lequel s'opère, dans une région donnée, la formation d'un bassin géogénique ou un changement dans les limites d'un bassin préexistant, indique évidemment pour cette région la fin d'une période et le commencement de la période suivante. Les lignes de séparation que ces phénomènes laissent après eux sont accusées par des discordances d'isolement que l'on observe nettement sur les limites du nouveau bassin. On reconnaît en même temps, au contact de deux terrains, des discordances de stratification ou d'isolement et une variation brusque dans la nature des matériaux; ordinairement, le terrain le plus récent renferme des débris dont l'origine est facile à constater et qui ont été empruntés au terrain le plus ancien. En un mot, le mouve-

ment ondulatoire qui détermine la formation ou la transformation d'un bassin géogénique, donne naissance aux mêmes effets que le mouvement oscillatoire, mais ces effets se manifestent sur une plus petite échelle; d'où l'on déduit, comme conséquence, que les lignes séparatives fournies par le mouvement ondulatoire, quoique très nettes, sont moins générales que celles que le mouvement oscillatoire a tracées; leur emploi est surtout utile dans les classifications des terrains d'une région peu étendue, le bassin de Paris, par exemple.

L'ensemble des dépôts reçus dans un même bassin débute ordinairement par une assise de matériaux détritiques; d'un autre côté, tout changement dans la configuration du sol tend à se traduire en partie par la production sur les centres de soulèvement, et l'accumulation dans les centres de sédimentation, d'un grand nombre de débris provenant des roches soulevées, disloquées et démantelées. Aussi, est-ce avec raison que quelques géologues sont portés à tenir compte, dans leurs classements des terrains, des indications fournies par les roches détritiques que l'on trouve à divers niveaux dans l'échelle géologique de chaque contrée. « La séparation entre deux terrains consécutifs ayant été marquée par une révolution de la surface du globe, il en résulte nécessairement que les premiers dépôts qui ont dû se former à la suite de chaque cataclysme ont dû se composer très fréquemment de fragments plus ou moins gros de roches préexistantes. Aussi les premières assises de chaque terrain sont elles souvent composées de galets dont les dimensions sont en rapport avec leur position. Les plus gros occupent les couches les plus anciennes de la formation, tandis que les grès à grains fins et les argiles forment des couches qui se succèdent jusqu'à un certain point par ordre de ténuité. Ces derniers dépôts ont continué ensuite

à se produire sous le régime calme et à peu près uniforme qu'ont présenté les longues périodes de tranquillité de l'histoire du globe, périodes pendant lesquelles les causes sédimentaires ont exercé leur action lente et continue, qui a coïncidé avec le développement de la nature organisée; c'est également pendant ces périodes qu'il s'est formé des calcaires. Cette succession de dépôts grossiers et des alternatives de couches calcaires et de couches de grès et d'argile, résultat naturel du trouble qui a régné à de certaines époques à la surface du globe et du calme qui les a suivies, s'est reproduite dans toutes les périodes des formations. » (Dufrénoy et Elie de Beaumont, *Explication de la Carte géologique de la France.*)

J'ai mentionné (tome I, pages 613 et suivantes) les divers changements qui peuvent être successivement apportés dans la configuration d'un bassin géogénique et j'ai décrit en même temps la manière dont les dépôts qui remplissent ce bassin s'y trouvent répartis dans le sens vertical. Les considérations que j'ai formulées à ce sujet démontrent l'utilité que la méthode géogénique présente dans un grand nombre de cas. J'ai indiqué aussi comment, en prenant ces considérations pour point de départ, on pouvait faire l'application de cette méthode non seulement au classement des assises reçues dans un même bassin géogénique, mais, en outre, à une classification générale des terrains postérieurs à la série paléozoïque.

C'est la méthode géogénique que l'on met en œuvre chaque fois que l'on fait coïncider le commencement d'une époque géologique avec un événement important autre que les mouvements du sol. C'est cette méthode que nous avons employée lorsque nous avons considéré l'ère jovienne comme datant du moment où les glaciers ont pris, pour la première fois, possession des massifs montagneux. C'est, enfin, cette méthode

qui a été mise en usage par Alex. Brongniart, lorsqu'il a établi, en 1829, sa classification générale des terrains.

Il y a d'ailleurs entre les méthodes géogénique et pétrographique une relation réelle, comparable à celle qui rattache la cause à l'effet.

Méthode pétrographique. — Cette méthode consiste à placer les lignes de séparation là où les strates changent d'aspect et de nature. Le nombre des terrains, dont les noms sont empruntés aux roches dont ils se composent en totalité ou en majeure partie, dit assez que la méthode pétrographique est largement employée depuis longtemps. Son importance va croissant à mesure que la contrée que l'on considère est moins étendue; lorsque cette contrée est très vaste, cette méthode vient d'un emploi difficile parce qu'elle conduit alors à réunir dans le même groupe des strates d'un âge différent et à placer dans des groupes différents des strates qui appartiennent à la même époque. Elle est surtout avantageuse dans le tracé des cartes géologiques; elle permet de séparer les unes des autres des masses qui, en offrant la même nature minéralogique, jouent le même rôle dans la constitution hydrographique, orographique et géognostique d'un pays.

Conybeare est un des premiers géologues qui aient fait une application systématique de la méthode pétrographique. Il divisait le terrain jurassique en trois grands systèmes; chacun de ces systèmes, disait-il, est basé sur une formation argilo-calcaire d'une grande épaisseur, et qui constitue toujours une ligne de démarcation bien nette, qu'il est impossible de confondre ou de prendre l'une pour l'autre; les roches oolitiques de chaque système, formant une rangée de collines distinctes, séparées des collines des autres systèmes par une large vallée

ou combe argileuse. MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont ont divisé le terrain jurassique en quatre systèmes et c'est afin de les faire commencer chacun par une assise argileuse qu'ils ont placé les marnes supraliasiques dans le système oolitique inférieur. Parmi les nombreuses applications qui ont été faites de la méthode pétrographique, je rappellerai la division du terrain jurassique en *jura brun* et *jura blanc*, ainsi que les expressions *faluns jaunes*, *marnes bleues subapennines*, etc., indiquant que les lignes de séparation des terrains ont été quelquefois choisies de manière à coïncider avec celles où les formations dont se compose un même ensemble changent de nuance. (Voir tome I, pages 565 et 566.)

La méthode pétrographique est trop dédaignée par quelques géologues ; si elle a ses inconvénients, elle présente aussi de sérieux avantages. Elle n'offre rien d'empirique, comme on l'a prétendu. Elle est tout aussi rationnelle, quoique d'un emploi moins général, que la méthode paléontologique. Les roches, de même que les fossiles, peuvent accuser une partie des changements apportés dans les climats, la configuration du sol, le caractère des phénomènes géologiques, etc. ; comme eux elles sont donc susceptibles d'indiquer par leurs variations les moments où une période finit et où une autre commence.

Méthode stratigraphique. — Les soulèvements linéaires, en donnant origine aux discordances de stratification, déterminent des lignes de démarcation d'une grande netteté ; ces lignes correspondent à l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre les deux moments qui ont vu se déposer, l'un la dernière strate du terrain le plus ancien, l'autre la première strate du terrain le plus récent. Cet intervalle de temps peut

être très long ou très court; en effet, le soulèvement des strates sous jacentes a bien pu ne se produire que longtemps après leur dépôt et le dépôt des strates sur jacentes n'a pas toujours immédiatement suivi le soulèvement de celles qui se trouvent en discordance de stratification avec elles. Dans un cas et dans l'autre, il existe réellement, entre les deux terrains en stratification discordante, deux lignes de séparation, et l'espace, pour ainsi dire théorique, limité par ces deux lignes indique une lacune ou un hiatus dans l'action sédimentaire. Cette lacune correspond à l'intervalle de temps pendant lequel divers dépôts s'effectuaient sur des points plus ou moins éloignés; son existence est mise hors de doute lorsqu'il est possible, dans la pratique, de suivre la discordance de stratification jusqu'au point où les terrains intermédiaires viennent se placer entre les deux systèmes de strates primitivement observées. Pour atteindre ce résultat, il faut comparer entre elles la constitution géognostique de plusieurs contrées; on arrive ainsi à reconnaître quels sont les terrains qui, tout en se suivant d'une manière immédiate dans le temps, sont séparés par une discordance de stratification. Mais alors la méthode à laquelle nous venons de donner, faute d'une désignation plus précise, l'épithète de « stratigraphique, » change de caractère et devient plus générale : elle doit en même temps changer de nom et c'est celui de méthode orogénique que nous croyons devoir lui réserver.

L'emploi des discordances de stratification doit être restreint à des régions peu étendues. Les indications qu'elles fournissent n'ont qu'une valeur restreinte, à moins qu'il ne soit reconnu que la discordance de stratification constatée sur un point se répète sur d'autres et se rattache, par sa direction comme par sa date, à un système de montagnes déjà signalé. Dans la

plupart des cas, il y a danger à se hâter de généraliser l'observation d'une stratification discordante faite sur un point quelconque (1).

Méthode orogénique. — Cette méthode est une application, sur une large échelle, de celle qui vient d'être indiquée. Son emploi a pour résultat de faire considérer comme distinctes les deux époques consécutives séparées par l'intervalle de temps relativement très court pendant lequel un système de montagnes a surgi ; évidemment cette distinction s'applique également aux terrains correspondant à chacune de ces époques. De même que la méthode stratigraphique, la méthode orogénique suppose l'emploi préalable de la méthode paléontologique sans laquelle les terrains ne pourraient être caractérisés et rangés dans leur ordre de formation.

La méthode orogénique a été surtout mise en usage par M. Elie de Beaumont. « Les systèmes de montagnes, dit-il, sont à la fois la quintessence de la topographie et les traces les plus caractéristiques des bouleversements que la surface du globe a éprouvés. En cherchant à coordonner les éléments du vaste ensemble de caractères par lesquels la main du temps a gravé l'histoire du globe à sa surface, on a trouvé que les montagnes sont les lettres majuscules de cet immense manus-

(1) Comme exemple des inconvénients qui peuvent se produire lorsqu'on généralise outre mesure des discordances de stratification constatées sur des points isolés, je citerai l'observation, faite par Charbaut aux environs de Lons le Saunier, d'une stratification discordante entre le lias et l'oolite. Cette discordance de stratification est sans doute plus apparente que réelle : en tout cas, elle est certainement accidentelle. Pourtant, l'observation locale de Charbaut a été reproduite dans divers traités de géologie et même dans le *Manuel de géologie* de sir Lyell, où elle est citée comme indiquant une discordance entre deux terrains qui, dans toute l'Europe, se montrent en stratification concordante et sont liés l'un à l'autre par des passages insensibles.

crit, et que chaque système de montagnes en comprend un chapitre. »

Les systèmes de montagnes ne sont pas uniformément distribués dans le temps; il en résulte que les terrains qu'ils limitent varient beaucoup sous le rapport de leur importance relative. (Voir tome II, page 394 et 526.) La liste chronologique des systèmes de montagnes n'indique, comme s'étant produits lors de la longue période pendant laquelle le terrain jurassique s'est déposé, que les deux systèmes de l'Oural et de la vallée du Doubs, dont l'autonomie est contestée par quelques géologues et qui paraissent ne pas avoir laissé à la surface du globe une empreinte très prononcée; l'ensemble des dépôts réunis quelquefois sous le nom de groupe carbonifère est au contraire parfaitement divisible en trois parties par les deux systèmes des Ballons et du Forez et nettement séparé des formations antérieure et postérieure par les systèmes de Hundsruck et du nord de l'Angleterre.

L'inconvénient le plus grave auquel donne lieu l'emploi de la méthode orogénique résulte des difficultés que l'on rencontre chaque fois qu'il s'agit de déterminer avec précision l'âge d'une chaîne de montagnes. Ces difficultés elles mêmes résultent de ce qu'une chaîne de montagnes n'a acquis son relief actuel qu'à la suite de plusieurs soulèvements successifs: il n'est pas toujours aisé d'établir les relations chronologiques qui existent entre ces soulèvements et les terrains qui font partie d'une chaîne de montagnes ou qui se montrent à une distance plus ou moins grande de cette chaîne. D'ailleurs, par suite de leur mode de distribution géographique, il arrive souvent que la zone qui a reçu l'empreinte d'un système de soulèvement se trouve placée en dehors des régions où se sont déposés les terrains qu'il nous est permis d'observer et

dont le dépôt a immédiatement précédé l'apparition de ce système.

Ce qui contribue à diminuer l'importance de la méthode orogénique, c'est que les chaînes de montagnes, au moment où elles ont surgi, n'ont pas réagi sur le climat, la faune et les phénomènes géologiques, comme ont pu le faire les vastes protubérances déterminées par les mouvements oscillatoire et ondulatoire. L'emploi de la méthode orogénique offre donc plus d'avantages au point de vue spéculatif qu'au point de vue pratique.

Les systèmes de montagnes servent à personnifier les moments relativement très courts qui se placent entre la fin d'une période géologique et le commencement de la période suivante. Encore les lignes de démarcation qu'ils fournissent ne se placent-elles pas toujours de manière à concorder avec les classifications qui sont généralement admises et que l'on a établies en mettant en usage les autres méthodes. C'est ainsi que le système des Pyrénées, un des plus importants de ceux qui ont laissé leur empreinte sur le sol de l'Europe, a surgi (si toutefois son âge est bien celui que lui accorde M. Elie de Beaumont) vers le milieu de la période nummulitique, de sorte que, ainsi qu'on l'a déjà dit, le terrain éocène est à cheval sur la chaîne de montagnes qui sépare la France de l'Espagne. C'est encore ainsi que la période jovienne ou quaternaire, telle du moins qu'elle me paraît devoir être comprise, avait commencé depuis quelque temps quand s'est montré le système des Alpes Principales que l'on avait d'abord considéré comme marquant la fin de la période tertiaire.

Méthode paléontologique. — Les considérations qui ont trouvé place dans le chapitre précédent me dispensent d'insister ici

pour démontrer toute l'importance de la méthode paléontologique; évidemment, l'emploi de cette méthode n'est pas possible lorsqu'il s'agit de terrains qui, par suite de leur nature même ou de circonstances diverses, ne renferment pas de fossiles. Mais, dans tous les autres cas, c'est cette méthode que l'on met le plus fréquemment en usage; c'est elle aussi qui sert de sanction et de contrôle aux autres méthodes, et qui avertit le géologue de son erreur, lorsqu'il réunit des strates offrant la même composition minéralogique, mais appartenant à des époques distinctes, ou lorsqu'il sépare des assises appartenant à la même époque, mais différant par leur composition. Quelquefois même la méthode paléontologique est la seule à laquelle on puisse avoir recours; il en est ainsi lorsque des strates nombreuses se succèdent sans varier dans leur nature et sans montrer de discordance de stratification.

A mesure que la paléontologie stratigraphique progresse et que le nombre des fossiles s'accroît, on voit de mieux en mieux que toutes les faunes passent, comme les couleurs de l'arc en ciel, des unes aux autres d'une manière insensible; on est de plus en plus conduit à penser qu'elles forment une série continue, sans lacune et sans hiatus. Par conséquent, lorsqu'on demande à la méthode paléontologique de nous indiquer les points par où l'on doit faire passer les lignes séparatives des terrains, les renseignements qu'elle nous fournit ne peuvent pas avoir toujours une netteté et une précision qui n'existent pas dans la nature. Un certain arbitraire accompagne souvent le choix de ces lignes, et, quelque soit le niveau par où on les fait passer, elles laissent presque toujours au dessous d'elles des espèces qui se retrouvent au dessus. Il ne faut donc pas accorder une valeur absolue aux raisons que les géologues, surtout les auteurs de monographies, sont encore portés à

invoquer lorsqu'ils réunissent des assises que rattachent entre elles des caractères paléontologiques communs ; la conclusion à laquelle ces géologues se trouveraient conduits, s'ils étaient conséquents avec eux mêmes, ce serait la nécessité de réunir tous les terrains dans un seul et même ensemble.

Si l'on étudie une contrée de peu d'étendue, on voit souvent les terrains qui se suivent immédiatement dans l'échelle géologique différer sous le rapport pétrographique. Cette différence dans la nature des roches indique que ces terrains ne se sont pas déposés dans les mêmes conditions ; la différence dans les conditions de leur dépôt a dû aussi réagir sur les caractères de leur faune. Il en résulte que les fossiles contenus dans l'un de ces terrains se distinguent de ceux que l'autre terrain renferme non seulement sous le rapport spécifique, mais aussi parce qu'ils n'appartiennent pas aux mêmes familles ni parfois aux mêmes classes. (Tome I, page 564.)Ce qui, dans une localité restreinte, contribue encore à rendre moins nombreux les exemples de passages de fossiles d'un terrain au terrain suivant, c'est que chaque contrée est toujours loin de posséder la série complète des formations ; on conçoit que les formations entre lesquelles viennent se placer les hiatus et les lacunes ne puissent plus présenter des espèces communes ; lorsqu'après une interruption plus ou moins longue, l'action sédimentaire est reprise dans une localité déterminée, la totalité des espèces qui auparavant habitaient cette localité ont eu le temps de disparaître de la surface du globe.

Les remarques qui précèdent ont pour objet de faire comprendre que les difficultés inhérentes à l'emploi de la méthode paléontologique se rencontrent surtout lorsqu'on a en vue des régions d'une vaste étendue, des continents tout en-

tiers. C'est alors surtout qu'après avoir dressé les listes des fossiles de certains terrains peu différents par leur âge, on constate sur ces listes la présence de fossiles communs plus ou moins nombreux.

Les changements dont l'observation sert de base aux classifications géologiques ne sont pas toujours généraux ou synchroniques. — Je viens de faire l'énumération des divers phénomènes et des principaux événements géologiques qui ont laissé après eux des traces susceptibles d'être mises à profit dans la classification des terrains. Il me reste à mentionner les difficultés qui se présentent quand on veut se servir des indications que ces traces nous fournissent, difficultés qui résultent du non synchronisme dans les époques où se sont effectués les changements de divers ordres qui viennent d'être indiqués. Le géologue doit autant que possible baser son travail sur les données paléontologique, stratigraphique, géogénique, etc. Lorsque ces diverses données sont concordantes, ainsi qu'on le constate pour la ligne de séparation entre les terrains crétacé et tertiaire, l'hésitation n'est guère possible et l'accord s'établit naturellement parmi les géologues. Mais lorsque ces données fournissent des indications contradictoires, le géologue, à moins qu'il ne soit influencé par des idées systématiques, peut bien se trouver dans l'embarras et ne savoir à quelle indication donner la préférence. Il en est ainsi, notamment, lorsqu'on veut tracer la limite entre les terrains mésozoïque et paléozoïque ; ces deux terrains montrent en effet, à leur point de contact des strates qui, par leurs caractères, sont en quelque sorte des strates de transition ou de passage. Il arrive encore que la donnée paléontologique, même lorsqu'on se borne à la consulter seule, laisse dans l'indécision ; c'est ainsi

que la faune triasique se rattache à la faune permienne par certains caractères et à la faune jurassique par d'autres.

Les difficultés que je viens de signaler se présentent quand on étudie une seule et même région d'une étendue limitée. Mais des obstacles d'une autre nature surgissent chaque fois que, dans une classification des terrains, on a en vue plusieurs contrées plus ou moins éloignées les unes des autres, et, à plus forte raison, lorsque l'on considère toute la surface du globe. On voit dans ces cas que les changements géologiques marquant la fin d'une période et le commencement de la période suivante, même lorsqu'ils ne sont pas d'ordres différents, ne se manifestent pas partout d'une manière générale et simultanée. Les forces intérieures peuvent, par exemple, transformer le relief de certaines contrées pendant qu'elles laissent tranquilles des régions voisines. Les espèces de plantes et d'animaux n'apparaissent pas en même temps dans toutes les régions où elles sont destinées à vivre; elles ne les abandonnent pas toutes à la fois; en d'autres termes, la transformation d'une faune peut être complète sur un point avant de commencer à se manifester sur un autre. Aussi le géologue a-t-il une tâche difficile à remplir puisqu'il doit autant que possible faire correspondre entre eux les échelons d'échelles qui ne sont pas exactement semblables; il se trouve à peu près dans la même situation qu'un historien qui devrait faire concorder les diverses périodes de pays qui, éloignés les uns des autres, auraient été soumis à des vicissitudes différentes et dont chacun aurait été le théâtre d'évènements n'ayant pas exercé d'influence sur les pays voisins.

Enumérons maintenant quelques uns des obstacles qui, dans la pratique, se présentent au géologue, lorsqu'il recherche les limites des étages, soit qu'il veuille établir des

lignes de séparation qui n'aient pas encore été signalées, soit qu'il recherche la place ou, si l'on veut, le prolongement de celles de ces mêmes lignes dont l'existence a été reconnue sur des points plus ou moins rapprochés. Les terrains sont ordinairement liés les uns aux autres par des passages insensibles, aux points de vue zoologique et pétrographique; il n'est pas toujours facile de dire où l'un finit et où l'autre commence. On ne doit pas s'étonner si l'esprit ne divise pas sans un certain effort un ensemble dont la nature a intimement lié les parties tout en les rendant distinctes à des distances suffisantes de leur point de contact. Souvent aussi une couche ne fournit aucune trace de fossile et le géologue doit suppléer à cette absence par des indications que lui inspire sa sagacité. Plus souvent encore une discordance de stratification ou d'isolement ne vient pas placer de ligne de démarcation entre deux formations distinctes; les couches, ainsi mises à l'abri d'un soulèvement opéré loin d'elles, ont conservé leur horizontalité antérieure ou, tout au moins, leur parallélisme primitif. Si, sur ce point, les matériaux qui ont concouru à leur formation continuent d'être les mêmes, si l'organisme n'a pas brusquement varié dans ses manifestations, le géologue aura devant lui deux terrains distincts sans qu'il lui soit possible de constater leur indépendance et de placer entre eux une ligne de démarcation. D'autres chances d'erreur se présentent lorsque les strates sont contournées ou renversées sur elles mêmes ou lorsque, par suite de phénomènes d'intermittence dans la vie des espèces (*antè*, page 363), certains fossiles se trouvent en dehors de leur horizon habituel. Mais les difficultés que l'on rencontre dans la pratique ne sauraient infirmer ni amoindrir les principes généraux qui servent de base à la géologie systématique.

CHAPITRE III.

CLASSIFICATIONS GÉNÉRALES DES TERRAINS.

Classifications anciennes : Sténon, Arduino, etc. — Classification wernerienne ; Lehman, Werner, Fuchsel. — Classifications postérieures à celle de Werner : Alex. Brongniart, Omalius d'Halloy, Cordier, Labèche, Huot. — Dufrénoy et Elie de Beaumont. — Classifications récentes ; d'Orbigny, Lyell, d'Archiac ; — Cartes géologiques de la France et de l'Angleterre.

Classifications anciennes ; Arduino, Lehman, Werner. — Le premier essai d'une division de l'écorce terrestre en parties distinctes par leur composition et leur origine remonte à 1756, année où Lehman, directeur des mines de Prusse, publia un ouvrage où il groupait les terrains en trois classes, comprenant : 1° les *roches primitives*, 2° les *roches secondaires*, 3° les *roches inondées*. Les terrains primitifs dataient du commencement du monde et étaient antérieurs à la création des animaux ; ils résultaient d'un dépôt effectué chimiquement au sein d'un liquide primordial, et ne renfermaient aucun débris d'être organisé ni aucun fragment d'autres roches. Les terrains secondaires étaient le résultat d'un dépôt effectué mécaniquement aux dépens des roches préexistantes dont ils contenaient les débris à l'état de sable et de gravier ; pendant leur formation, la terre était couverte de plantes et d'animaux. Enfin, les terrains inondés devaient leur origine à des révolutions locales et au déluge de Noé. Les progrès de la science ont complété, mais n'ont pas modifié la classification des

terrains imaginée par Lehman et l'idée qu'il se faisait de leur origine. Cette généralisation hardie, remarque sir Lyell, bien qu'entrevue déjà par Sténon (1), en Italie, un siècle auparavant, marque dans les progrès de la géologie une étape importante et fournit à la classification des roches une sorte d'esquisse exacte de quelques unes de ses divisions principales.

Plusieurs mémoires, publiés vers le milieu du dernier siècle, démontrent que l'idée de diviser les roches ou les montagnes en trois groupes, se distinguant les unes des autres par leur âge comme par leur mode de formation, commençait à se répandre parmi les savants. L'habitude où l'on est de personnifier certaines découvertes par certains noms explique seule pourquoi le mérite d'avoir eu le premier cette idée est attribué à Lehman et à Werner, quelquefois même à celui-ci au préjudice du premier.

En 1759, c'est à dire presque en même temps que Lehman faisait connaître sa classification des roches, Arduino divisait les montagnes du Padouan et du Véronais en *primitives*, *secondaires* et *tertiaires*. Les *montagnes primitives*, d'après lui, sont composées de schistes qui s'étendent sous les montagnes calcaires qu'elles supportent et sont, par conséquent, plus anciennes. Les *montagnes secondaires* sont pour la plupart formées de calcaires compactes et disposées en couches suivies; elle renferment des corps organisés pétrifiés. Les *montagnes tertiaires* ou collines peu élevées sont postérieures aux secondaires et reposent en partie au dessus et en partie à côté.

(1) Sténon soutenait, vers 1669, époque de la publication de son *Prodromus*, que la Toscane avait eu, avant l'époque actuelle, six configurations différentes. Ce pays, disait-il, a été deux fois complétement couvert par les eaux, deux fois mis à sec avec une surface uniforme, et, enfin, deux fois sillonné par des chaînes de montagnes.

La classification dite de Werner n'est autre que celle de Lehman perfectionnée et surtout vulgarisée par l'illustre professeur de Freyberg. Le perfectionnement introduit par ce dernier consiste dans l'intercalation du terrain de transition entre les terrains primitif et secondaire. Dans ce terrain de transition, il comprenait les couches dont les caractères participent de ceux des terrains entre lesquels elles sont comprises; elles possèdent quelques uns des caractères minéralogiques du terrain primitif, et notamment l'aspect cristallin de ses roches, mais, comme les roches du terrain secondaire, elles renferment des fragments d'autres roches et des débris de corps organisés.

Tous les terrains superposés à la craie, et que Werner classait parmi les terrains inondés, se partagent en deux groupes bien distincts. Le groupe supérieur comprend les terrains d'alluvion, c'est à dire des dépôts d'un caractère nettement tranché; mais, entre ce groupe et la craie, il existe un ensemble quelquefois très puissant de couches à stratification régulière, résultant d'une sédimentation plus ou moins tranquille, renfermant de nombreux fossiles, d'origine marine ou lacustre, en un mot présentant les principaux caractères du terrain secondaire. C'est cet ensemble supérieur à la craie, mais inférieur aux terrains inondés, que Cuvier et Alex. Brongniart étudiaient soigneusement dans le bassin de Paris peu après le commencement de notre siècle et qui recevait, vers cette époque, le nom de *terrain tertiaire*. Plus tard, la désignation de terrains inondés ou d'alluvion était remplacée par celle de *terrain quaternaire*. Dès lors, la classification et la nomenclature wernérienne étaient définitivement établies.

Plus récemment, on a introduit, non dans la classification de Werner qui est généralement adoptée, mais dans sa nomencla-

ture, des modifications indiquées dans le tableau synonymique ci-joint :

TERRAINS	Alluvial	Quaternaire	Homœozoïque.
	Tertiaire	Tertiaire	Néozoïque.
	Secondaire	Secondaire	Mésozoïque.
	De transition	Primaire	Paléozoïque.
	Primitif	Cristallin	Azoïque.

Classifications postérieures à celle de Werner; Ad. Brongniart, Labèche, Omalius d'Halloy, Huot. — Pendant que cette division des terrains en cinq grands groupes s'établissait peu à peu, l'étude progressive de la structure de l'écorce terrestre amenait la connaissance des terrains moins importants dont se composent les groupes principaux. C'est ainsi que, dès 1795, Humboldt employait l'expression de *calcaire du Jura* et considérait ce calcaire comme formant un terme de la série secondaire. Déjà Lehman, en 1756, avait déterminé, en Allemagne, la position relative des formations suivantes :

8. Zechstein, rauckwacke, calcaire fétide.
7. Calcaire schisteux.
6. Schistes cuivreux.
5. Argile et calcaire bleu.
4. Grès rouge secondaire (*Rothe todte*).
3. Dépôt houillers.
2. Vieux grès rouge.
1. Formation primaire et à filons.

Quelques années après, Fuchsel ajoutait à cette liste les terrains aujourd'hui désignés sous les noms de *muschelkalk* et de *grès bigarré*. Toutefois, ces divisions, exclusivement basées sur l'étude minéralogique des terrains, ne pouvaient être poussées bien loin dans un même pays et, encore moins, généralisées; la géologie se trouvait alors dans un impasse d'où les idées émises ou appliquées par Fuchsel, W. Smith, Giraud-Soulavie, Alex. Brongniart, Brocchi, etc., devaient la faire sortir.

CLASSIFICATION DES TERRAINS

D'ALEX. BRONGNIART (1829).

PÉRIODES	JOVIENNE.	TERRAINS d'inondation (CLYSMIENS)	Terrains de transport et d'alluvion.	POSTDILUVIENS. / ANTÉDILUVIENS.
		TERRAINS de sédiments secondaires (YZÉMIENS)	**supérieurs**, depuis la surface de la terre jusqu'à la craie exclusivement.	IZ. THALASSIQUES (de la mer).
			moyens, depuis la craie jusqu'au lias ou calcaire à gryphites exclusivement.	IZ. PÉLAGIQUES (de la haute mer).
			inférieurs, depuis le lias jusqu'à la houille filicifère inclusivement.	IZ. ABYSSIQUES (de l'ancienne mer).
	SATURNIENNE.	TERRAINS de sédiments primordiaux (HÉMILYSIENS)	Calcaire métallifère, calcaire de transition, grauwacke ; partie sédimenteuse des terrains primordiaux.	SEMI-CRISTALLISÉS.
		TERRAINS de cristallisation (AGALYSIENS)	**supérieurs** à des terrains qui renferment des débris de corps organisés (porphyre, protogyne, syénite).	CRISTALLISÉS EPIZOÏQUES.
			inférieurs à tous les terrains qui renferment des débris organiques (micaschiste, gneiss, etc.)	CRISTALLISÉS HYPOZOÏQUES.

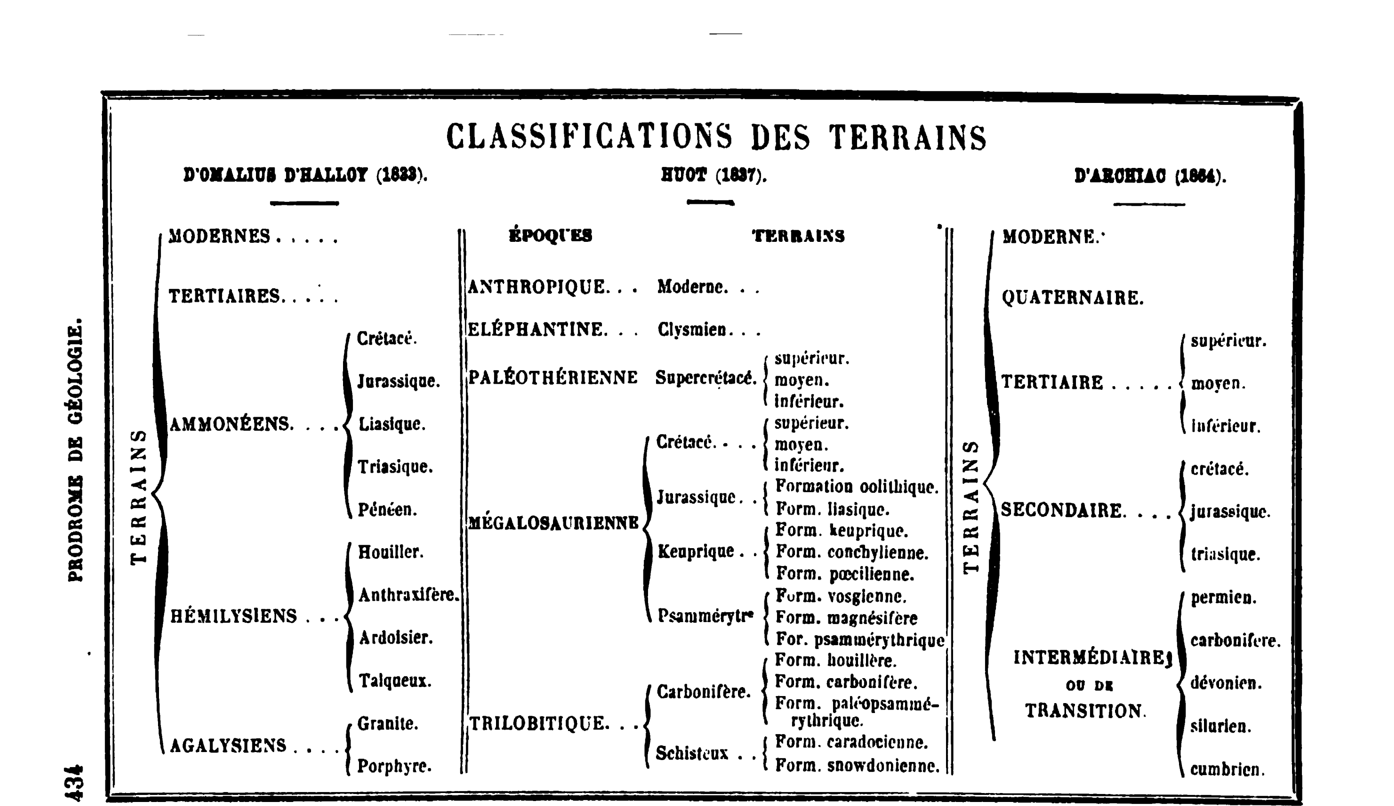
CLASSIFICATION DES TERRAINS
DE CORDIER.

Périodes.	Etages.
ALLUVIALE	Etage moderne. — diluvien.
PALÉOTHÉRIENNE	Etage du crag. — des faluns. — des molasses. — paléothérique.
CRÉTACÉE	Etage crayeux. — glauconien. — des sables ferrugineux.
SALINO-MAGNÉSIENNE	Etage oolitique. — du lias. — des argiles irisées. — du calcaire à cératites. — des grès bigarrés. — du zechstein. — des pséphites.
ANTHRAXIFÈRE	Grand étage houiller. — — des calcaires anthraxifères. — — des grès pourprés.
PHYLLADIENNE	Grand étage ampélitique. — — phylladique.
PRIMITIVE	Grand étage des talcites phylladiformes. — — des talcites cristallifères. — — des micacites. Immense étage des gneiss.

CLASSIFICATION DES TERRAINS

DE LA BÈCHE (1832).

TERRAINS STRATIFIÉS	supérieurs ou fossilifères.	1er groupe. *Moderne.*	Détritus de différentes sortes, produits par les causes qui agissent encore aujourd'hui. *Iles madréporiques; travertino*, etc.
		2e groupe. *Des blocs erratiques.*	*Blocs de transport*, *graviers*, couvrant des collines et des plaines, où ils paraissent avoir été amenés par des forces plus puissantes que celles qui agissent maintenant *(Groupe provisoire.)*
		3e groupe. *Supercrétacé.*	Dépôts de divers genres supérieurs à la craie, tels que : en Angleterre, le *crag*, les *couches de l'île de Wight*, l'*argile de Londres*, l'*argile plastique*; en France, les *couches marines* et d'*eaux douces* des environs de Paris, etc.
		4e groupe. *Crétacé.*	1. *Craie* — 2 *Grès vert supérieur.* — 3 *Gault.* — 4. *Grès vert inférieur.* Auxquels il est convenable de réunir : 1. L'argile dite *weald* — 2. Le *sable de Hasting.* — 3. Les couches de *Purbeck.*
		5e groupe. *Oolitique.*	Terrains désignés ordinairement sous le nom d'*Oolites*, en y comprenant le *Lias.*
		6e groupe. *Du Grès vert.*	1. *Marnes rouges* ou *marnes irisées.* — 2 *Muschelkalk.* — 3. *Grès rouge.* — 4 *Zechstein.* — 5. *Conglomérat rouge.*
		7e groupe. *Carbonifère.*	1. *Terrain houiller.* — 2. *Calcaire carbonifère.* — 3. *Vieux grès rouge.*
		8e groupe *De la Grauwacke.*	1. *Grauwacke* en couches épaisses et schisteuses. — 2. *Calcaire* de la grauwacke. — 3 *Schiste argileux* de la grauwacke, etc.
		9e groupe. *Fossilifère inférieur.*	Différents *schistes*, souvent entremêlés de réunions de roches stratifiées, semblables à celles qui se rencontrent dans les terrains non stratifiés.
	inférieurs ou non fossilifères.	Aucun ordre de superposition déterminé.	Différentes *roches schisteuses* et beaucoup de masses cristallines stratifiées, comme *Gneiss*, *Protogyne*, etc.



CLASSIFICATIONS DES TERRAINS

D'OMALIUS D'HALLOY (1833).

TERRAINS	
MODERNES	
TERTIAIRES	
AMMONÉENS	Crétacé.
	Jurassique.
	Liasique.
	Triasique.
	Pénéen.
HÉMILYSIENS	Houiller.
	Anthraxifère.
	Ardoisier.
	Talqueux.
AGALYSIENS	Granite.
	Porphyre.

HUOT (1837).

ÉPOQUES	TERRAINS	
ANTHROPIQUE	Moderne.	
ELÉPHANTINE	Clysmien.	
PALÉOTHÉRIENNE	Supercrétacé.	supérieur.
		moyen.
		inférieur.
MÉGALOSAURIENNE	Crétacé.	supérieur.
		moyen.
		inférieur.
	Jurassique.	Formation oolithique.
		Form. liasique.
	Keuprique.	Form. keuprique.
		Form. conchylienne.
		Form. pœcilienne.
	Psamméryt[re]	Form. vosgienne.
		Form. magnésifère
		For. psammérythrique
TRILOBITIQUE	Carbonifère.	Form. houillère.
		Form. carbonifère.
		Form. paléopsammérythrique.
	Schisteux.	Form. caradocienne.
		Form. snowdonienne.

D'ARCHIAC (1864).

TERRAINS	
MODERNE.	
QUATERNAIRE.	
TERTIAIRE	supérieur.
	moyen.
	inférieur.
SECONDAIRE	crétacé.
	jurassique.
	triasique.
INTERMÉDIAIRE OU DE TRANSITION.	permien.
	carbonifère.
	dévonien.
	silurien.
	cumbrien.

CLASSIFICATION DES TERRAINS DE *LYELL* (1838-1865).

Terrains		Systèmes			
1. RÉCENT.		POST-TERTIAIRE.			
2. POST-PLIOCÈNE.					
3. NOUVEAU PLIOCÈNE.		PLIOCÈNE.	TERTIAIRE ou CAINOZOIQUE.		NÉOZOIQUE.
4. VIEUX PLIOCÈNE.					
5. SUPÉRIEUR.		MIOCÈNE.			
6. INFÉRIEUR.					
7. ÉOCÈNE SUPÉRIEUR.		ÉOCÈNE.			
8. ÉOCÈNE MOYEN.					
9. ÉOCÈNE INFÉRIEUR.					
10. COUCHES DE MAESTRICHT.		CRÉTACÉ.			
11. CRAIE BLANCHE SUPÉRIEURE.					
12. CRAIE BLANCHE INFERIEURE.					
13. GRÈS VERT SUPÉRIEUR.					
14. GAULT.			SECONDAIRE ou MÉSOZOIQUE.		
15. GRÈS VERT INFÉRIEUR.					
16. WEALDIEN.					
17. LITS DE PURBECK.		JURASSIQUE.			
18. PIERRE DE PORTLAND.					
19. ARGILE DE KIMMERIDGE.					
20. CORAL RAG.					
21. ARGILE D'OXFORD.					
22. GRANDE OOLITE, ou OOLITE DE BATH.					
23. OOLITE INFÉRIEURE.					
24. LIAS.					
25. TRIAS SUPÉRIEUR.		TRIASIQUE.			
26. TRIAS MOYEN ou MUSCHELKALK.					
27. TRIAS INFÉRIEUR.					
28. PERMIEN, ou CALCAIRE MAGNÉSIEN.		PERMIEN.	PRIMAIRE ou PALÆOZOIQUE.		PALÆOZOIQUE.
29. HOUILLE.		CARBONIFÈRE.			
30. CALCAIRE CARBONIFÈRE.					
31. SUPÉRIEUR	DÉVONIEN. —	DÉVONIEN.			
32. INFÉRIEUR					
33. SUPÉRIEUR	SILURIEN. —	SILURIEN.			
34. INFÉRIEUR					
35. SUPÉRIEUR	CAMBRIEN. —	CAMBRIEN.			
33. INFÉRIEUR					

CLASSIFICATION DES TERRAINS DE *D'ORBIGNY* (1849).

Terrains.	Étages.	
CONTEMPORAINS	28. Contemporain ou époque actuelle.	
TERTIAIRES. . .	27. Subapennin.	
	26. Falunien. . .	Falunien supérieur ou proprement dit. Falunien inférieur ou Tongrien. .
	25. Parisien.	
	24. Suessonien.	
CRÉTACÉS . . .	23. Danien.	
	22. Sénonien.	
	21. Turonien.	
	20. Cénomanien.	
	19. Albien.	
	18. Aptien.	
	17. Néocomien.	
JURASSIQUES. .	16. Portlandien.	
	15. Kimméridgien.	
	14. Corallien.	
	13. Oxfordien.	
	12. Callovien.	
	11. Bathonien.	
	10. Bajocien.	
	9. Toarcien.	
	8. Liasien.	
	7. Sinémurien.	
TRIASIQUES. . .	6. Saliférien.	
	5. Conchylien.	
PALÉOZOÏQUES...	4. Permien.	
	3. Carboniférien.	
	2. Dévonien.	
	1. Silurien . . .	Silurien supérieur ou Murchisonien. Silurien inférieur ou proprement dit.

La première classification des terrains, établie sur des bases autres que celles qui étaient généralement adoptées depuis Werner, a été proposée en 1829 par Alex. Brongniart. Cette classification, dont j'ai déjà parlé (tome I, page 599), se trouve reproduite dans le tableau de la page 431. Peu de géologues s'en sont servi; il est toujours difficile de faire accepter d'emblée toute une nomenclature nouvelle; d'ailleurs les idées qu'Alex. Brongniart avait prises pour bases dans sa classification étaient sans doute trop avancées pour être facilement comprises de tout le monde. Afin de montrer où en était alors la géologie systématique, j'ai placé à la page 438 la classification générale des terrains qui accompagne la seconde édition du *Manuel géologique* de Labèche, publiée en 1832.

Les deux tableaux de la page 435 présentent le résumé des classifications inscrites dans leurs *Traités de géologie* par M. d'Omalius d'Halloy, en 1835, et par Huot, en 1837. Les mots d'*agalysien*, d'*hémilysien* et d'*ammonéen*, adoptés par le premier, ne sont pas passés dans l'usage. Il en a été de même pour les expressions *époques mégalosaurienne*, *paléothérienne*, *éléphantine* et *anthropique*, proposées par le second; ces expressions n'étaient pas d'ailleurs convenablement choisies: ni les paléothériums, ni les mégalosaures n'ont vécu pendant toute la durée des deux périodes qu'ils sont censés caractériser, tandis que l'homme et l'éléphant, dont les noms servent à désigner deux époques distinctes, ont été contemporains l'un de l'autre.

La classification que MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont ont choisie lorsqu'ils ont publié la *Carte géologique de la France* est reproduite dans le tableau de la page 440 (1). Ils

(1) Voir la légende de la *Carte géologique de la France* et *Description géologique de la France*, tome I, pages 58 et 93.

ont eu le bon esprit de n'introduire aucune expression nouvelle dans cette classification qui résume d'une manière très exacte les progrès déjà accomplis par la géologie systématique en 1841. Je dois rappeler que les alluvions anciennes de la Bresse, inscrites dans ce tableau comme appartenant à la période pliocène, sont rattachées dans ma classification à la période jovienne. Je ferai observer, en outre, que le terrain nummulitique, considéré par les auteurs de la *Carte géologique de la France* comme correspondant à la craie blanche, lui est supérieur et se place dans la série tertiaire; le calcaire à bélemnites et les marnes supraliasiques rangés par eux à la base de l'oolite inférieure, sont actuellement reconnus comme faisant partie du lias.

Classifications récentes : Alc. d'Orbigny, sir Lyell, d'Archiac. — Parmi les classifications postérieures à l'année 1841, celle qui est due à Alc. d'Orbigny a obtenu le plus grand nombre d'adhérents. Elle offre sans doute une grande simplicité, mais précisément à cause de ce caractère, elle ne se trouve nullement en harmonie avec ce que l'on observe dans la nature lorsque l'on voit l'écorce terrestre présenter dans sa structure une grande complication. Ce défaut provient notamment de l'absence de divisions intermédiaires entre ce qu'Alc. d'Orbigny appelle terrains et étages. Un reproche que l'on a également adressé à ce géologue, c'est de n'avoir pas assez tenu compte de ce principe de géologie systématique que, dans toute classification, un terrain quelconque doit occuper une place proportionnelle à son épaisseur. En général, tous les géologues ont l'habitude d'accorder dans l'échelle géologique plus d'importance aux formations qu'ils ont pris plus spécialement pour l'objet de leurs recherches ; c'est pour cela qu'Alc.

d'Orbigny a fait la part si large aux terrains crétacé et jurassique et si restreinte au terrain paléozoïque ; pour lui, le terrain silurien, dont la puissance est quelquefois de plusieurs milliers de mètres, semble n'être qu'une unité de même valeur que chacun des étages kimméridien et portlandien dont l'épaisseur dépasse rarement cent mètres. Signalons, enfin, dans la classification d'Alc. d'Orbigny une erreur de fait bien difficile à expliquer : c'est la réunion dans le même étage subapennin de formations aussi distinctes par leur âge que celles qui sont caractérisées les unes par le *Mastodon brevirostris* et les autres par l'*Elephas primigenius.*

A la page 435 se trouve la classification générale des terrains de sir Lyell ; à la page 434 celle de M. d'Archiac : ces deux classifications sont celles qui me paraissent le plus en relation avec l'état actuel de la science.

Cartes géologiques. — Les cartes géologiques ont pour but de montrer les terrains que l'on observe dans un pays et d'indiquer l'étendue occupée par chacun d'eux. Puisque les strates, en plongeant les unes au dessous des autres, se recouvrent dans un ordre déterminé, les cartes géologiques ont, en outre, l'avantage de nous renseigner sur la nature du sous sol jusqu'à une profondeur plus ou moins grande (voir tome I, page 278, et tome II, page 573). Je vais mentionner les premiers travaux auxquels le tracé des cartes géologiques a donné lieu en France et en Angleterre ; on s'explique aisément pourquoi ces travaux ont marché parallèlement avec les recherches dont la classification des terrains a été l'objet, lorsqu'on se rappelle les relations intimes qui rattachent la constitution géognostique du sol à celle du sous sol ; délimiter les terrains qui apparaisent à la surface d'une contrée quelconque, c'est,

en même temps, retrouver l'ordre dans lequel ils se succèdent à mesure que l'on se dirige par la pensée vers le centre du globe.

« Vers la fin du seizième siècle, Georges Owen, né dans le Pembrockshire, écrivait sur la topographie de ce pays un mémoire qui ne fut publié que longtemps après. L'auteur y trace, avec beaucoup d'exactitude, la direction et l'étendue des couches de houille et de celles de calcaire qui les accompagnent dans toute la partie sud du pays de Galles; il fait voir leurs relations avec les parties du Gloucestershire et du Somersetshire qui l'avoisinent. C'est probablement le premier essai qui ait été tenté pour établir ce principe, que les mêmes séries des couches se succèdent dans un même ordre, régulièrement sur de grandes surfaces, de manière à dévoiler leur constitution géologique. Martin Lister (1678) paraît avoir eu l'idée de la construction des cartes géologiques régulières, ce qui indiquerait qu'il comprenait déjà, comme G. Owen, la disposition systématique des couches sédimentaires sur de grandes étendues de pays. Son projet n'a point été mis à exécution, mais il trace la marche qu'il aurait suivie en parlant des divisions qu'il se proposait d'adopter pour le Yorkshire, et une carte coloriée d'après ses données aurait déjà représenté d'une manière satisfaisante la composition géologique de ce pays. Lister connaissait aussi la continuation de la craie d'Angleterre au delà du détroit, sur les côtes de France, et l'on peut présumer, d'après diverses notes, qu'il admettait, au moins dans certains cas, la distinction des couches par la différence de leurs fossiles. Quelques observateurs, purement stratigraphes, se sont fait connaître, dans la première moitié du dix huitième siècle, par leurs travaux sur les couches secondaires; ils étaient certainement dans une voie de recherches plus exactes et plus

rationnelles que la plupart de leurs contemporains du continent. Il y a dans ces anciens travaux de nos voisins d'outre-Manche, un sentiment plus vrai de la nature des choses, et leur marche, quoique encore incertaine, est plus rapprochée du but, ce que nous attribuons aux caractères physiques du sol de l'Angleterre, lesquels traduisent avec une grande netteté, même pour un observateur superficiel, ses caractères géologiques. » (D'Archiac.)

La première carte géologique de l'Angleterre fut publiée en 1815 par W. Smith, qui était parvenu à la dresser sans collaboration aucune et en étant réduit à ses propres ressources pécuniaires. En 1822, G. B Greenough en publia une seconde, presque à la même échelle que celle de W. Smith. Un coup d'œil jeté sur cette carte, dit M. d'Archiac, suffit pour donner une idée de la distance où la science, en Angleterre, laissait derrière elle les résultats obtenus partout ailleurs sur le continent. C'est de 1836 que datent les premiers travaux relatifs à la carte géologique officielle de la Grande Bretagne, actuellement terminée : le soin de compléter et de développer l'œuvre première est confié à un corps d'ingénieurs géologues (*Ordnance geological survey*) qui, du vivant de Labèche, était placé sous sa direction.

Une petite carte hydrographique de la France, publiée en 1664 par l'abbé Coulon, renferme quelques indications sur la distribution des masses minérales dans notre pays; mais c'est à Guettard qu'il faut attribuer l'honneur d'avoir le premier publié en France une véritable carte géologique. Le travail de Guettard, communiqué en 1746 à l'Académie des sciences, est intitulé : *Mémoire et carte minéralogique sur la nature et la situation des terrains qui traversent la France et l'Angleterre.* L'auteur s'y propose de faire voir qu'il y a une certaine régularité

en même temps, retrouver l'ordre dans lequel ils se succèdent à mesure que l'on se dirige par la pensée vers le centre du globe.

« Vers la fin du seizième siècle, Georges Owen, né dans le Pembrockshire, écrivait sur la topographie de ce pays un mémoire qui ne fut publié que longtemps après. L'auteur y trace, avec beaucoup d'exactitude, la direction et l'étendue des couches de houille et de celles de calcaire qui les accompagnent dans toute la partie sud du pays de Galles; il fait voir leurs relations avec les parties du Gloucestershire et du Somersetshire qui l'avoisinent. C'est probablement le premier essai qui ait été tenté pour établir ce principe, que les mêmes séries des couches se succèdent dans un même ordre, régulièrement sur de grandes surfaces, de manière à dévoiler leur constitution géologique. Martin Lister (1678) paraît avoir eu l'idée de la construction des cartes géologiques régulières, ce qui indiquerait qu'il comprenait déjà, comme G. Owen, la disposition systématique des couches sédimentaires sur de grandes étendues de pays. Son projet n'a point été mis à exécution, mais il trace la marche qu'il aurait suivie en parlant des divisions qu'il se proposait d'adopter pour le Yorkshire, et une carte coloriée d'après ses données aurait déjà représenté d'une manière satisfaisante la composition géologique de ce pays. Lister connaissait aussi la continuation de la craie d'Angleterre au delà du détroit, sur les côtes de France, et l'on peut présumer, d'après diverses notes, qu'il admettait, au moins dans certains cas, la distinction des couches par la différence de leurs fossiles. Quelques observateurs, purement stratigraphes, se sont fait connaître, dans la première moitié du dix huitième siècle, par leurs travaux sur les couches secondaires; ils étaient certainement dans une voie de recherches plus exactes et plus

rationnelles que la plupart de leurs contemporains du continent. Il y a dans ces anciens travaux de nos voisins d'outre-Manche, un sentiment plus vrai de la nature des choses, et leur marche, quoique encore incertaine, est plus rapprochée du but, ce que nous attribuons aux caractères physiques du sol de l'Angleterre, lesquels traduisent avec une grande netteté, même pour un observateur superficiel, ses caractères géologiques. » (D'Archiac.)

La première carte géologique de l'Angleterre fut publiée en 1815 par W. Smith, qui était parvenu à la dresser sans collaboration aucune et en étant réduit à ses propres ressources pécuniaires. En 1822, G. B Greenough en publia une seconde, presque à la même échelle que celle de W. Smith. Un coup d'œil jeté sur cette carte, dit M. d'Archiac, suffit pour donner une idée de la distance où la science, en Angleterre, laissait derrière elle les résultats obtenus partout ailleurs sur le continent. C'est de 1836 que datent les premiers travaux relatifs à la carte géologique officielle de la Grande Bretagne, actuellement terminée : le soin de compléter et de développer l'œuvre première est confié à un corps d'ingénieurs géologues (*Ordnance geological survey*) qui, du vivant de Labèche, était placé sous sa direction.

Une petite carte hydrographique de la France, publiée en 1664 par l'abbé Coulon, renferme quelques indications sur la distribution des masses minérales dans notre pays; mais c'est à Guettard qu'il faut attribuer l'honneur d'avoir le premier publié en France une véritable carte géologique. Le travail de Guettard, communiqué en 1746 à l'Académie des sciences, est intitulé : *Mémoire et carte minéralogique sur la nature et la situation des terrains qui traversent la France et l'Angleterre.* L'auteur s'y propose de faire voir qu'il y a une certaine régularité

dans la distribution qui a été faite des pierres, des métaux et de la plupart des autres fossiles. Il représente le nord de la France et la partie orientale de l'Angleterre comme occupés par trois bandes concentriques, la première *sablonneuse*, la seconde *marneuse* et la troisième *schisteuse* ou *métallique*. Postérieurement à la publication de son mémoire, Guettard reçut du gouvernement la mission d'explorer la France au point de vue minéralogique et de dresser des cartes des diverses provinces; Lavoisier et plus tard Monnet furent associés à ce travail. Ce dernier publia, en 1780, une *Description minéralogique de la France*, accompagnée d'un atlas où, au lieu de marcher dans la voie ouverte par Guettard et de tracer les contours des grandes masses minérales, il se borne à indiquer en chaque lieu, par un signe conventionnel, les substances minérales qui y ont été recueillies. En 1794, le corps des mines fut chargé de rassembler tous les documents relatifs à la constitution géologique de la France : des mémoires, envoyés par les ingénieurs, furent publiés dans le journal des mines, ainsi que des notices minéralogiques sur plusieurs départements. Plus tard, Coquebert de Monbret fut chargé de la statistique générale de la France, et, en 1822, il coopéra, avec M. d'Omalius d'Halloy, à publier un *Essai d'une carte géognostique de la France*, où les limites des grandes masses minérales se trouvaient seules tracées. En 1822, le gouvernement ordonna l'exécution d'une carte géologique générale de la France; Brochant de Villiers eut la direction du travail; on lui donna le concours de MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont qui commencèrent leurs explorations en 1825. Un premier exemplaire d'une carte tiré avant le commencement de la gravure du relief fut présenté à l'Académie des sciences en 1835; c'est en 1841 que cette carte, complétement terminée, fut livrée au public.

CHAPITRE IV.

CLASSIFICATION GÉNÉRALE DES TERRAINS PROPOSÉE PAR L'AUTEUR.

Temps cosmogoniques, plutoniques et géologiques. — Division des temps géologiques en trois grandes ères : ères neptunienne, tellurienne et jovienne. — Division en cinq grandes périodes : périodes azoïque, paléozoïque, mésozoïque, néozoïque et homozoïque. — Division en neuf séries : séries azoïque, trilobitique, psammitique, triasique, jurassique, crétacée, nummulitique, proboscidienne et glaciaire. — Caractères généraux des terrains correspondant à ces divers groupes. — Division de l'échelle géologique en systèmes.

Temps cosmogoniques, plutoniques, géologiques. — L'histoire du globe, depuis le moment où il était à l'état de nébuleuse jusqu'à l'époque actuelle, peut se partager en trois grandes périodes correspondant : la première aux *temps cosmogoniques*, la deuxième aux *temps plutoniques* et la troisième aux *temps géologiques*. (Tome I, page 27.)

Au commencement des *temps cosmogoniques*, une matière diffuse, très peu dense, lumineuse par elle même, possédant une très haute température, constituait toute la masse du globe encore à l'état gazeux. A dater de ce moment cette masse a subi, sous l'influence d'un refroidissement continu, une condensation progressive qui devait avoir pour résultat de le faire insensiblement passer à l'état nuageux, puis à l'état de liquéfaction ignée, et, enfin, à l'état solide; par « état nuageux, » j'entends une manière d'être comparable à celle des nuages parsemés au milieu de la masse atmosphérique. Ces phéno-

mènes successifs de vaporisation, de liquéfaction et de solidification ont été le résultat de l'action réfrigérante exercée sur le globe par le milieu où il est plongé : leur cause se trouve donc placée extérieurement par rapport à notre planète. Dans l'intérieur du globe, au contraire, existe un foyer de chaleur qui agit en sens opposé ; sous l'influence de cette chaleur, les parties solidifiées, à mesure qu'elles tendent à se rapprocher du centre de la terre, repassent à l'état liquide et les parties liquides, dans les mêmes circonstances, reprennent l'état de vapeur. Il faut donc admettre que les phénomènes de vaporisation, de liquéfaction et de solidification s'effectuent du dehors en dedans et non du dedans en dehors, comme on le dit quelquefois ; ils se sont opérés et ils s'opèrent encore par zones superposées ; ils se continuent dans le centre de la terre où la matière, à l'état de liquide élastique (tome I, page 140), est toujours aussi peu dense que lors des premiers temps cosmogoniques.

Pendant que ces phénomènes simultanés de refroidissement et de concentration de la masse terrestre se manifestaient, notre planète éprouvait vers sa périphérie des transformations constituant les diverses phases de son développement.

Les temps cosmogoniques peuvent se partager en deux périodes. Pendant la première, la terre constituait encore une nébuleuse et formait une masse où la matière était, dans toute son étendue, à l'état gazeux. Pendant la seconde, la terre, devenue un soleil, possédait déjà une pyrosphère, ou, en d'autres termes, une zone où la matière était déjà passée à l'état de liquéfaction ignée ; au dessous de cette pyrosphère, les substances les plus denses et les moins volatilisables déterminaient un nucléus semblable à celui qui existe au centre du globe, mais plus étendu que lui ; au dessus, les substances

les moins denses et les plus volatilisables constituaient par leur accumulation une atmosphère destinée à acquérir une composition chimique de plus en plus simple.

Pendant les *temps plutoniques*, la terre est peu à peu devenue un astre éteint. L'eau, d'abord repoussée vers les zones supérieures de l'atmosphère à cause de la température élevée qui régnait dans la masse terrestre, a fini par pouvoir séjourner à la surface du globe. Elle s'y est mélangée avec les matériaux silicatés qui s'y étaient accumulés pour former, au dessus d'un nucléus métallique (tome I, page 148), une zone comparable au laitier qui, dans le creuset des hauts fourneaux, recouvre la fonte à l'état de fusion. Le résultat de ce mélange a été la formation de la boue ou magma granitique (livre II, chap. II). Ce magma, en se solidifiant, a donné naissance à une pellicule qui a été en augmentant d'épaisseur; elle a fini, après des dislocations nombreuses, par constituer une écorce terrestre rudimentaire, qui a persisté pour former l'ossature et la charpente de l'écorce actuelle. — Les temps plutoniques marquent le passage des temps cosmogoniques aux temps géologiques proprement dits; leur étude est tout à la fois du ressort de la cosmogonie et de la géologie. C'est de la période plutonique que date la formation du granite primitif ou fondamental, c'est à dire de la roche qui sert de support ou de substratum à toutes les strates sédimentaires.

Les *temps géologiques* ont commencé lorsqu'une écorce terrestre rudimentaire a été définitivement établie; dès lors, la constitution générale du globe était la même que de nos jours et les phénomènes géologiques, considérés dans leur ensemble, avaient déjà leur mode actuel de développement. (Tome I, pages 120 et 199.) Les temps géologiques persisteront jusqu'à ce que la terre, passée à l'état de lune, soit complé-

tement solidifiée et ait absorbé son océan et son atmosphère. (Tome I, page 121.) Il est probable qu'alors, dans l'intérieur du globe comme vers sa périphérie, toute action chimique ou dynamique sera suspendue; la terre, tout en continuant de rouler dans l'espace, restera un astre inerte et glacé, dépourvu d'habitants et plongé dans l'obscurité la plus complète. Cet état de choses persistera jusqu'à ce que, le système planétaire arrivant dans des régions dont la température est excessivement élevée, le globe terrestre se trouve de nouveau ramené à l'état gazeux. Si cette prévision, que j'émets sans y attacher aucune importance, devait se réaliser un jour, la terre serait destinée à subir une autre fois les transformations que je viens d'énumérer d'une manière sommaire après les avoir décrites avec détail dans le cours de cet ouvrage.

Division des temps géologiques en ères neptunienne, tellurienne et jovienne. — Les temps géologiques peuvent se partager en trois ères que nous avons désignées de la manière suivante :


ÈRES { JOVIENNE. TELLURIENNE. NEPTUNIENNE.

Cette division a été déjà indiquée dans l'introduction du *Prodrome de Géologie;* elle s'est trouvée trop bien justifiée par l'étude raisonnée que nous avons faite de tous les phénomènes géologiques, pour que nous ne la maintenions pas dans les derniers chapitres de cet ouvrage.

Pendant l'*ère neptunienne* (Neptune, dieu de la mer), un océan sans rivages recouvrait le globe tout entier; aussi les dépôts datant de cette période forment-ils à l'écorce terrestre une enveloppe continue, qui ne disparaît que sur les points où

ces dépôts ont été enlevés par voie de dénudation ou recouverts par les formations postérieures. Tous les terrains datant de l'ère neptunienne sont d'origine marine et résultent d'une sédimentation chimique; ils ont reçu de l'intérieur de l'écorce terrestre la totalité de leurs éléments et ceux-ci leur sont arrivés par voie d'action geysérienne (tome I, page 614 et tome II, page 188). Ces terrains se composent surtout de roches silicatées, offrant pour la plupart une texture schistoïde, due soit à leur origine, soit à leur mode de dépôt. Pendant l'ère neptunienne, les phénomènes éruptifs se développaient dans des conditions spéciales que nous avons essayé de définir (livre V, chap. VII). Les masses éruptives qu'ils ont amenées à la surface du globe appartiennent aux groupes des granites et des porphyres; elles sont arrivées par des ouvertures essentiellement temporaires qui n'avaient nullement l'aspect des volcans actuels. Enfin, pour compléter cette énumération des caractères de l'ère neptunienne, ajoutons que notre planète était alors dépourvue d'habitants: du moins, les êtres qui la peuplaient avaient une organisation tellement simple et un si faible volume qu'ils n'ont pu laisser dans les strates sédimentaires de traces de leur ancienne existence. A cause de leur ancienneté les terrains correspondant à l'ère neptunienne présentent une stratification très tourmentée: ils constituent ordinairement l'axe ou la partie centrale des massifs montagneux.

Un nouvel ordre de choses a pris naissance d'une manière insensible vers la fin de l'ère neptunienne. Quelques portions de la croûte du globe, obéissant à l'impulsion des forces intérieures, ont formé, au dessus de l'océan des premiers âges, des îles destinées à être les rudiments, les pierres d'attente, ou, en d'autres termes, les germes des futurs continents. Les débris détachés de ces premières îles par les vagues et les agents

atmosphériques ont déterminé l'apparition des premières roches détritiques; en même temps, les premiers êtres organisés ont apparu; alors a commencé l'ère tellurienne.

L'ère tellurienne (*Tellus,* dieu de la terre) embrasse la majeure partie des temps géologiques. Elle se distingue d'abord des ères neptunienne et jovienne par l'absence des caractères que nous indiquons comme étant spéciaux à chacune de celles-ci. Des êtres organisés n'ont pas cessé d'habiter la surface du globe pendant l'ère tellurienne, de sorte que les dépôts correspondant à cette période sont tous plus ou moins fossilifères, mais aucun d'eux ne renferme de débris indiquant l'existence de l'homme. Ces dépôts sont formés de roches très variables par leur nature, les unes d'origine chimique, les autres d'origine détritique. Ils ont été reçus dans des bassins de plus en plus circonscrits; ils ont eu d'abord une origine exclusivement marine, mais, ensuite, les formations lacustres se sont montrées et ont acquis une importance croissante. Quant aux roches éruptives, de plutoniques qu'elles étaient d'abord, elles ont tendu à prendre le faciès volcanique, le seul qu'elles présentaient à la fin de l'ère tellurienne.

L'ère jovienne (*Jovis,* Jupiter) offre une importance relative très faible, ce qui s'explique aisément lorsqu'on réfléchit que cette période n'est qu'à son début. Elle date (tome I, page 364) du moment où les mers se sont renfermées dans leurs limites actuelles; elle commence immédiatement après le dépôt des plus anciennes alluvions existant aujourd'hui. Au point de vue organique, l'ère jovienne emprunte son principal caractère à l'existence de l'homme qui, depuis le début de cette ère, n'a pas cessé d'habiter la surface du globe où sa domination s'étend de plus en plus. Pour caractériser nettement l'ère jovienne au point de vue inorganique, il faut rappeler qu'elle

est l'époque des glaciers, de la tourbe et des volcans à cratère. Les dépôts correspondant à l'ère jovienne sont les uns d'origine terrestre, les autres d'origine lacustre ou marine. Les premiers remplissent les vallées et toutes les dépressions du sol, ou se montrent accumulés le long du littoral; les autres sont encore cachés au fond des bassins où ils ont été reçus; si nous pouvions les observer, nous constaterions qu'ils sont en majeure partie d'origine détritique. Ajoutons, enfin, que toutes les formations terrestres actuellement existantes, les dunes et les deltas que nous voyons se constituer de nos jours, ne remontent pas plus haut que vers le commencement de l'ère jovienne.

Périodes azoïque, paléozoïque, mésozoïque, néozoïque et homozoïque. — L'étude des transformations générales subies par les faunes et les flores (livre XII, chap. IV) conduit à diviser les temps géologiques en cinq périodes dont le tableau suivant indique les noms et les relations chronologiques avec les trois ères neptunienne, tellurienne et jovienne.

ÈRES	PÉRIODES
JOVIENNE	HOMOZOIQUE.
TELLURIENNE. .	NÉOZOIQUE. MÉSOZOIQUE. PALÉOZOIQUE.
NEPTUNIENNE. . .	AZOIQUE.

La période *azoïque* (α, privatif; ζῶον, animal) correspond au terrain primitif des anciens auteurs. Elle est caractérisée par l'absence de plantes et d'animaux à la surface du globe. Elle commence avec le dépôt des plus anciennes strates sédimentaires, c'est à dire du granite stratifié; elle cesse avec le

moment qui a vu la création des premiers êtres organisés. J'ai déjà dit que ce moment n'était pas encore fixé d'une manière définitive et que les progrès de la science avaient pour résultat de le faire remonter de plus en plus vers le commencement des temps géologiques (tome III, page 300). D'après la définition qui vient d'être donnée des expressions « ère neptu- » nienne » et période azoïque », on voit qu'elles désignent une même époque de l'histoire du globe.

L'ère tellurienne, la plus importante des trois que nous avons distinguées, comprend les périodes *paléozoïque, mésozoïque* et *néozoïque*. Les termes choisis pour les désigner expriment leur ordre de succession, absolument comme les mots *primaire, secondaire, tertiaire*, dont les deux derniers sont plus anciennement employés dans la science.

La période *paléozoïque* (παλαιὸς, ancien; ζῶον, animal) commence avec les premières strates renfermant des débris de corps organisés, c'est-à-dire avec les schistes à *Oldhamia* de la formation de Bangor; elle finit avec les dernières assises du grès des Vosges. Cette période a été le règne des acrogènes et des poissons. Elle correspond au terrain de transition et au terrain secondaire inférieur des anciens auteurs.

La période *mésozoïque* (μεσος, moyen; ζῶον, animal) a été le règne des gymnospermes et des reptiles. Elle correspond au terrain secondaire supérieur et moyen dans la classification de Werner. Elle commence avec le grès bigarré et se termine avec le calcaire pisolitique, dernier terme de la série crétacée.

La période *néozoïque* (νέος, nouveau; ζῶον, animal) a été le règne des angiospermes et des mammifères. Elle correspond au terrain tertiaire des auteurs. Elle commence avec les plus anciennes strates renfermant des nummulites et se

termine immédiatement avant les terrains de transport contemporains du conglomérat bressan.

La période *homozoïque* (ὁμὸς, semblable; ζῶον, animal,) ainsi nommée à cause de la presque similitude de sa faune avec celle de l'époque actuelle, correspond exactement à l'ère jovienne, telle qu'elle vient d'être définie.

Cette classification offre une certaine analogie avec la division généralement adoptée pour les temps historiques; c'est une remarque que je fais surtout afin que le lecteur puisse mieux graver dans sa mémoire le classement que je propose. Les périodes *azoïque, paléozoïque, mésozoïque, néozoïque, homozoïque* sont rattachées entre elles par des rapports qui rappellent ceux qui existent entre les périodes que les historiens désignent sous les noms de *temps fabuleux, temps anciens, moyen-âge, temps modernes* et *époque contemporaine*. Entre l'antiquité et le moyen âge, une séparation très nette est établie par l'invasion des barbares, événement fécond en conséquences, qui, avec l'expansion du christianisme, marque le commencement d'une ère nouvelle. De même, un phénomène général, qui s'est manifesté en France et dans toutes les régions voisines, est venu placer une ligne de démarcation entre les périodes *paléozoïque* et *mésozoïque*. Au moment où le terrain du trias allait se déposer, les eaux océaniennes ont subitement envahi la presque totalité de l'Europe, à l'exception de quelques îles destinées à devenir les centres des futurs continents et, plus tard, les massifs montagneux des périodes récentes. Cette circonstance établit une relation évidente entre la configuration de l'Europe au commencement de la période mésozoïque et pendant l'époque actuelle. Remarquons, en outre, qu'à dater de la période triasique, les phénomènes géologiques et les êtres organisés ont pris un caractère de plus en plus semblable à celui qu'ils

offrent de nos jours. Aussi quelques géologues réunissent-ils les périodes *mésozoïque* et *néozoïque* en une seule à laquelle ils affectent cette dernière désignation et qu'ils opposent à la période paléozoïque, quittes à subdiviser cette période néozoïque en deux autres, sous les noms de périodes mésozoïque et cainozoïque; on voit que cette classification ne diffère pas essentiellement de celle que j'adopte.

Division de l'échelle géologique en neuf séries. — En tenant compte des modifications apportées non seulement dans la faune et la flore de notre planète, mais encore dans sa constitution topographique et climatologique, ainsi que dans la nature des phénomènes géologiques, on peut partager l'ensemble de l'échelle des terrains en neuf séries.

Le tableau de la page 456, où ma classification se trouve résumée, montre les relations qui existent entre cette division et celles qui ont été indiquées dans les paragraphes précédents. Dans ce tableau, la classification des terrains diffère sensiblement de celle que j'avais adoptée dans le tableau de la page 224, tome I. Tout en ne cessant pas de prendre pour base, dans le groupement des terrains, les effets du mouvement oscillatoire auquel l'écorce terrestre est soumise, je n'ai pas cru devoir accorder à cette donnée pas plus qu'à toute autre une valeur absolue. Il m'a paru convenable de scinder en deux parties le terrain paléozoïque correspondant à une seule oscillation du sol, mais dont la puissance relative est trop grande pour qu'on le laisse entier.

La moindre importance que je crois devoir accorder aux effets du mouvement oscillatoire m'a encore engagé à retrancher les deux systèmes suprajurassique et supracrétacé pour les rattacher aux systèmes immédiatement antérieurs. J'ai

divisé le groupe oolitique en trois parties, ainsi qu'on le fait habituellement et non en deux, comme je l'avais fait d'abord. J'ai également retranché de mon second tableau le système fucoïdien; cette modification est la conséquence d'un changement que j'ai apporté dans ma manière d'apprécier les relations chronologiques du terrain nummulitique méditerranéen et du terrain éocène parisien.

Après avoir détourné le mot *néozoïque* de la signification que je lui avais d'abord donnée, j'ai dû le remplacer par un autre et j'ai choisi celui de *probosoidien*. Plus tard j'indiquerai l'étymologie ou la raison d'être des désignations auxquelles je donne la préférence.

La série *azoïque* correspond exactement à la période de même nom et, par conséquent, à l'ère neptunienne.

Pendant la première partie de la période paléozoïque, le sol de l'Europe et, sans doute aussi, d'un grand nombre d'autres régions, n'a pas cessé d'obéir à un mouvement ascensionnel. Ce mouvement a eu pour conséquences l'accroissement de la terre ferme et la formation d'un vaste continent. Puis, un mouvement en sens contraire s'est opéré et a eu pour résultat le retour des eaux océaniennes qui, au moment où la période paléozoïque finissait, étaient sur le point d'envahir la majeure partie de la France et des régions voisines. C'est dans cette double impulsion que nous trouvons un premier motif de diviser la série paléozoïque en deux systèmes : le *système trilobitique* et le *système psammitique*.

Je divise les terrains correspondant à la période mésozoïque en trois séries : la *série triasique*, la *série jurassique* et la *série crétacée*. Ces deux dernières correspondent exactement à la seconde et à la troisième des cinq oscillations qui, depuis les premiers temps géologiques jusqu'à nos jours, ont été

	ÈRES	PÉRIODES	SÉRIES
TEMPS GÉOLOGIQUES.	JOVIENNE	Homozoïque. . . .	GLACIAIRE. . . . .
	TELLURIENNE	Néozoïque	PROBOSCIDIENNE .
			NUMMULITIQUE . .
		Mésozoïque. . . .	CRÉTACÉE. . . . .
			JURASSIQUE. . . .
			TRIASIQUE. . . . .
		Paléozoïque . . .	PSAMMITIQUE . . .
			TRILOBITIQUE . . .
	NEPTUNIENNE	Azoïque	AZOÏQUE. . . . . .

	SYSTÈMES.	SYNONYMIE.	»
XXI	**Diluvium.**	*T. Quaternaire*	R. de l'homme.
XX	**Pliocène.**	*Terrain Tertiaire*	Règnes des mammifères et des angiospermes.
XIX	**Miocène.**		
XVIII	**Parisien.**		
XVII	**Suessonien.**		
XVI	**Craie blanche.**	*Terrain Secondaire*	Règnes des reptiles et des gymnospermes.
XV	**Grès vert.**		
XIV	**Néocomien.**		
XIII	**Oolite supérieure.**		
XII	**Oolite moyenne.**		
XI	**Oolite inférieure.**		
X	**Lias.**		
IX	**Infra-lias.**		
VIII	**Trias.**		
VII	**Permien.**	*Terrain Primaire*	Règnes des poissons et des acrogènes.
VI	**Houiller.**		
V	**Carbonifère.**		
IV	**Dévonien.**		
III	**Silurien.**		
II	**Cambrien.**		
I	**Strato-cristallin.**		»

imprimées au sol de l'Europe. Quant à la série du trias, elle devrait, au point de vue dynamique, être rattachée à la période paléozoïque, puisque, pendant le dépôt du trias, le sol a continué d'obéir au mouvement de haut en bas qui avait commencé à se manifester vers la fin de la période houillère; mais nous verrons que la série triasique présente divers caractères qui ont engagé presque tous les géologues à la placer dans le terrain secondaire et, par conséquent, dans la période mésozoïque.

La période néozoïque se divise en deux séries : la *série nummulitique* et la *série proboscidienne,* correspondant l'une à la troisième oscillation et l'autre à la cinquième.

Quant à la période homozoïque, elle ne comprend que la *série diluvienne* qui, par ses caractères, se distingue nettement de tous les terrains plus anciens. Pendant la période homozoïque, le sol de l'Europe a continué de s'exhausser, de sorte que, si l'on ne tenait compte que des phénomènes dynamiques, on serait amené à considérer cette série comme se rattachant à la série immédiatement antérieure dont elle constituerait le dernier terme.

Dans la dernière partie de cet ouvrage, consacrée à la classification des terrains, nous verrons comment les séries se divisent en systèmes dont le nombre, pour nous, s'élève actuellement à vingt et un. Les systèmes se partagent à leur tour en étages que les progrès de la science rendent de plus en plus multipliés et dont nous porterons le nombre à plus de soixante.

CLASSIFICATION

ET

DESCRIPTION DES TERRAINS

SÉRIE AZOIQUE

Comprenant un seul système.

I. — SYSTÈME STRATO-CRISTALLIN.

Synonymie. — *Terrain primitif* ou *primordial*, de Werner et des divers auteurs. — *Terrain granitique*, en partie. — *Terrains agalysiens* ou *cristallisés hypozoïques*, Alex. Brongniart. — *Terrain schisteux*, ou *cristallophyllien*, ou *strato-cristallin*, en partie. — *Terrains cristallisés*, Dufrénoy et Elie de Beaumont. — *Série métamorphique*, de quelques auteurs.

Caractères paléontologiques. — Les roches du terrain azoïque sont complétement dépourvues de fossiles, d'où le nom d'*azoïque* donné à ce terrain; ce n'est là qu'un caractère négatif qui n'a pas une valeur absolue et l'on conçoit que certaines strates considérées actuellement comme faisant partie du terrain azoïque puissent plus tard être reconnues comme renfermant des débris de corps organisés et rattachées aux systèmes cumbrien ou silurien (*antè*, page 452).

Pétrographie; stratigraphie. — Le terrain azoïque est le plus anciennement formé : il constitue le point de départ de la série stratifiée, il sert de substratum général et constant à la zone sédimentaire et, dans les coupes géologiques, il se montre à la base des strates que ces coupes présentent à l'observation.

Le terrain azoïque, étudié aux points de vue stratigraphique et pétrographique, a déjà attiré mon attention ; il me suffira de rappeler succinctement les principaux faits que j'ai eu l'occasion de mentionner. (Voir, notamment, *antè*, page 149.)

Toutes les roches dont ce terrain se compose sont d'origine marine ; il en est de même pour tous les terrains qui le suivent dans la série géologique jusqu'au système carbonifère inclusivement (tome I, page 596). — Elles résultent presque en totalité d'une sédimentation chimique ; tout au plus pourrait-on considérer comme ayant une origine en partie détritique les schistes argileux placés à la partie supérieure du terrain azoïque ; mais ces schistes ne sont jamais accompagnés de grès ou de roches conglomérées susceptibles de démontrer l'existence de phénomènes d'érosion et de transport s'exerçant sur un sol émergé (tome I, page 567 et 600). — Presque toutes les roches du terrain azoïque sont exclusivement formées de silice à l'état de quartz ou de silicates ; l'élément calcaire intervient assez rarement dans leur composition. — Elles ont fréquemment une texture cristalline et cette texture est d'autant plus prononcée qu'elles sont plus anciennes (tome I, page 596). — Elles possèdent presque toujours une structure schistoïde dont j'ai rappelé la raison d'être (tome I, pages 513 et suivantes). — Leur stratification est constamment plus ou moins tourmentée et, dans un grand nombre de cas, elles présentent des inflexions nombreuses et des contournements en S plus ou

moins répétés (tome II, page 570). — L'énergie de l'action geysérienne pendant la période azoïque est accusée non seulement par l'aspect des masses minérales datant de cette période, mais aussi par les nombreux filons, injectés ou concrétionnés, stériles ou métallifères, qui traversent dans tous les sens les roches strato-cristallines (tome II, page 188). Quant aux roches éruptives, elles appartiennent sans exception aux groupes des roches granitiques et porphyriques; elles se font quelquefois remarquer par leur analogie d'aspect et de composition avec les roches sédimentaires, datant de la même époque qu'elles mêmes (tome II, page 16 et suivantes).

Division du terrain azoïque en quatre étages. — Le système azoïque se divise en quatre groupes qui tantôt sont nettement distincts entre eux, tantôt passent insensiblement des uns aux autres. On peut, en rangeant ces groupes dans la série géologique, les considérer comme des étages parce que, bien qu'ils possèdent parfois une grande puissance, ils offrent une uniformité de caractères qui rend difficile la division de chacun d'eux en groupes d'une moindre valeur.

Étage du granite. — Cet étage est exclusivement composé de granite et de roches appartenant à la même famille que lui. Le granite est tantôt à gros grains et tantôt à petits grains; lorsque ces deux variétés sont rapprochées l'une de l'autre, l'examen attentif de leur gisement conduit à reconnaître que ce dernier est le plus ancien. Quelquefois les mêmes masses de granite présentent ces deux caractères à la fois; on voit alors les fragments de granite à petits grains engagés et comme fondus dans le granite à gros grains; il semble, dans ce cas, que le granite à petits grains après une solidification et

une cristallisation rapides, ait été disloqué et saisi à l'état de fragments par la masse sous jacente encore non solidifiée.

Le terrain granitique se présente en roches massives; ce n'est que vers sa partie supérieure qu'il montre quelques indices de stratification indiquant un passage vers l'étage suivant.

Dans le terrain granitique il ne faut pas comprendre le granite éruptif amené à la surface du globe postérieurement à la solidification de ce terrain lui même; celui-ci constitue seul l'étage auquel il donne son nom; lui seul doit être considéré comme représentant l'écorce terrestre primordiale le substratum de tous les terrains de sédiment, la charpente et l'ossature de l'enveloppe solide du globe. Je reconnais que cette distinction n'est pas toujours facile à établir en fait, mais en théorie, il est impossible de ne pas l'admettre. J'ai même indiqué un caractère qui pouvait aider à distinguer le granite éruptif du granite fondamental; j'ai dit que celui-ci est toujours à plus petits grains et qu'on constate en lui une cristallisation plus confuse ainsi qu'une tendance moins prononcée à la texture porphyroïde.

Certains granites opposent une grande résistance à l'action destructive des agents extérieurs; il en est ainsi notamment pour les roches granitiques, la plupart aux formes bizarres, qui se dressent le long de certaines côtes et restent debout pendant plusieurs siècles malgré les vagues qui se brisent contre elles; il existe à Rome un obélisque en granite d'Egypte qui est encore intact bien qu'il date de trois mille ans. Mais presque partout le terrain granitique est soumis soit à une désagrégation plus ou moins rapide, soit à une décomposition résultant du passage du feldspath à l'état de kaolin (tome I, page 256). Les débris résultant de cette destruction du granite vont s'accumuler dans les vallées et les dépressions du sol qui entourent

les pays où cette roche domine; ils donnent origine à un terrain sableux que l'on appelle quelquefois *arène* et qui est formé à peu près des mêmes éléments que le granite, avec lequel on pourrait, si l'on n'y prenait garde, le confondre, lorsque ses éléments ont été de nouveau cimentés. Le phénomène que je viens de décrire s'est produit pendant les temps anciens. Les roches formées, au fond des anciennes mers, dans le voisinage et aux dépens du terrain granitique, sont fréquemment des arkoses ou grès feldspathiques. On conçoit que le terrain granitique étant le plus ancien de tous, les grès feldspathiques puissent se montrer à tous les niveaux de l'échelle géologique; par conséquent, ce n'est que dans les classifications locales que le mot « arkose » peut être employé sans inconvénient pour désigner un étage ou une assise.

Quant à l'origine du granite et à ses divers caractères pétrographiques, ce sont autant de sujets que j'ai déjà traités dans le cours de cet ouvrage. (Voir livre II, chapitre I et II, tome II, pages 8 et suivantes, 274 et suivantes, etc.)

Étages du gneiss, du micaschiste et du talcschiste. — Ces trois étages offrent une épaisseur considérable qui, pour chacun d'eux, peut atteindre jusqu'à 2000 mètres. Ils sont constitués presque en totalité par les roches dont ils portent respectivement le nom.

Le mica, qui, avec le quartz et le feldspath, entre dans la composition des roches du groupe granitique, devient de plus en plus abondant dans celles du *groupe du gneiss*, de sorte que le quartz ne semble plus jouer qu'un rôle secondaire. En même temps que les lamelles de mica se montrent plus nombreuses, elles tendent à se disposer en petits lits parallèles et à imprimer à la roche où elles existent une structure feuilletée.

La manière dont cette transformation s'effectue permet de dire que le gneiss est tantôt un granite stratifié, tantôt un granite dépourvu, en totalité ou en majeure partie, de son quartz. (Tome I, pages 466 et 601.)

Dans le *groupe* du *micaschiste* ou *schiste micacé*, c'est le feldspath qui perd de plus en plus de son importance et qui laisse alors le quartz et le mica l'un à côté de l'autre. En même temps, la roche prend une texture plus feuilletée, plus ondulée. On conçoit que la distinction entre ce groupe et le précédent soit quelquefois difficile à établir. (Tome I, page 466.)

Dans le *groupe* du *talcschiste* ou *schiste talqueux*, le talc remplace le mica; la stratification devient plus nette et l'aspect des roches plus terreux. Ce groupe peut se subdiviser en deux sous groupes: 1° celui des *talcschistes cristallins*, où la texture cristalline persiste encore; 2° celui des *talcschistes phylladiformes*, où l'aspect devient de plus en plus terreux; ce sous-groupe comprend des roches qui ne se distinguent quelquefois de celles qui entrent dans la composition du système cumbrien que par l'absence de fossiles.

Distribution géographique. — Les circonstances qui ont accompagné le dépôt du terrain azoïque permettent de penser que ce terrain existe dans toutes les régions du globe. Il ne disparaît réellement que sur les points où, émergé dès les périodes géologiques les plus anciennes, il ne s'est déposé que partiellement ou a été enlevé par les agents d'érosion qui ont laissé le granite à nu. Mais presque partout il se cache sous la masse puissante des strates fossilifères; les régions où il se montre à découvert sont celles qui, lors de la période cumbrienne s'élevaient sous forme d'îles au milieu du vaste océan qui occupait la surface du globe.

La Scandinavie est la contrée de l'Europe où le terrain azoïque offre le plus d'étendue ; il constitue une vaste zone qui occupe, presque sans solution de continuité, la Finlande, la Norwège et la Suède ; dans toute la partie orientale de ce dernier pays, il est fréquemment recouvert par le terrain erratique. Outre le granite fondamental, on peut, d'après Durocher, distinguer dans le terrain azoïque de la Scandinavie, deux groupes : le groupe du *gneiss* et des *schistes cristallins* et le groupe des *schistes semi-cristallins*. Le premier groupe est surtout composé de gneiss, fréquemment mélangé de granite et accompagné de schistes micacés, quartzeux, amphiboliques, ainsi que de calcaires cristallins. Ces calcaires, souvent très riches en minéraux silicatés, forment des couches ou masses lenticulaires qui sont intercalées dans les schistes et dont la puissance atteint quelquefois plusieurs centaines de mètres. Durocher attribue au groupe du gneiss, dans le nord de l'Europe, une puissance de 5 à 10,000 mètres. Le second groupe consiste principalement en schistes luisants et en schistes argileux, argilo-micacés et argilo-chloriteux, associés à des bancs de quarzite et à des masses calcaires moins nombreuses et moins puissantes que dans le groupe précédent.

Le plateau central de la France est, après la Scandinavie, la région de l'Europe où le terrain azoïque atteint sa plus grande extension dans le sens horizontal. Les montagnes du centre de la France sont presque entièrement composées de granite et de gneiss. Le schiste micacé constitue en général une bande mince à la séparation du terrain azoïque et du terrain secondaire ; dans quelques localités, il prend plus d'extension, et il paraît alors être en connexion avec le terrain de transition. Des masses de calcaire saccaroïde sont quelquefois, comme en Scandinavie, enclavées dans le gneiss.

SÉRIE TRILOBITIQUE.

La série trilobitique commence avec les strates fossilifères les plus anciennes et se termine avec les dernières strates du *mill-stone grit*. Elle correspond à la partie de la période paléozoïque pendant laquelle le sol de l'Europe a obéi à une impulsion de bas en haut; la conséquence de cette impulsion a été de chasser peu à peu les eaux de l'océan qui, au commencement de la période trilobitique, recouvraient presque toute la France et les régions voisines. Le nom que nous donnons à la série trilobitique, bien qu'il ait été introduit dans la science depuis assez longtemps, n'est pas encore fréquemment employé; il est d'autant mieux justifié que les trilobites se montrent à tous les niveaux de cette série et disparaissent avec les dernières strates dont elle se compose. La série trilobitique comprend tout le *terrain* de *transition* de Werner, plus la partie la plus inférieure du *terrain secondaire* des anciens auteurs, c'est à dire le groupe de la *grauwacke* et celui du *vieux grès rouge*. Elle se divise en quatre systèmes: SYSTÈME CUMBRIEN, SYSTÈME SILURIEN, SYSTÈME DÉVONIEN, SYSTÈME CARBONIFÈRE.

Distribution géographique; mers de la période trilobitique. — C'est surtout dans les massifs montagneux que l'on observe le terrain trilobitique; il entre dans leur composition pour une part d'autant plus grande qu'ils sont plus anciens. On ne peut apercevoir qu'une faible partie des dépôts qui datent de la pé-

riode trilobitique; leur ancienneté même fait que beaucoup d'entre eux ont été, comme le terrain azoïque, détruits par les agents d'érosion ; d'autres, en plus grand nombre, sont cachés sous la masse puissante des formations postérieures au terrain carbonifère. Par conséquent, nous n'avons à notre disposition qu'assez peu de documents relatifs à la distribution géographique des terrains dont l'ensemble constitue la série trilobitique, et ce n'est que d'une main indécise que l'on peut tracer les limites des bassins où ces divers terrains ont été reçus. S'il n'est pas toujours possible de retrouver l'emplacement des mers de la période trilobitique, on peut néanmoins constater que le mouvement ascensionnel auquel le sol a obéi pendant cette période a eu pour effet de diminuer de plus en plus leur étendue et d'amener l'émergement de la majeure partie de l'Europe. On reconnaît en outre qu'en France, pendant la première partie de la période paléozoïque, la mer s'est déplacée de l'ouest vers l'est et qu'elle a tendu à s'éloigner du massif breton pour se rapprocher de la région vosgienne; en Angleterre elle a obéi à un déplacement semblable.

Pétrographie; stratigraphie; faune et flore. — J'ai déjà indiqué (tome I, page 602) les principaux caractères pétrographiques des terrains appartenant à la série trilobitique. Ces caractères sont très variables et d'ailleurs tout à fait différents de ceux des autres terrains dont se compose l'échelle géologique. Je rappellerai que tous les dépôts datant de la période trilobitique sont d'origine marine, ce qui indique que, lors de cette période, il n'existait pas encore à la surface du globe d'amas d'eau douce de quelque importance. Les combustibles se présentent toujours à l'état d'anthracite, presque jamais de houille et encore moins de lignite. L'action geysérienne a laissé dans le terrain

trilobitique de nombreux filons métallifères. Quant aux terrains éruptifs, on trouve parmi eux des représentants des diverses familles des roches plutoniques : ce sont des granites, des porphyres et des trapps ; les roches volcaniques ne se montrent pas encore.

Les strates du terrain trilobitique n'ont pu résister indéfiniment aux actions dynamiques qui agissent contre l'écorce terrestre et, à cause de leur ancienneté même, il est peu de régions où elles aient conservé leur horizontalité primitive. Les schistes feuilletés sont fréquemment ondulés et contournés sur eux mêmes ; les calcaires et les schistes à structure plus ou moins massive, comme les ardoises, sont souvent redressés jusqu'à la verticale, stratifiés en éventail ou plusieurs fois recourbés en ω couchées, comme dans les figures 87 et 88, tome II, page 548. Dans la partie gauche de la figure 108, tome II, page 572, j'ai essayé de donner une idée de l'allure générale des strates du terrain trilobitique.

Je suis entré, relativement à la flore et à la faune de la période trilobitique, dans des considérations qu'il est inutile de reproduire ici et que je compléterai dans les paragraphes qui suivent. (Voir tome III, pages 305 et suivantes.)

II. — SYSTÈME CUMBRIEN.

SYNONYMIE. — *Terrain de transition inférieur.* — *Etage phylladique*, en partie, Cordier. — *Groupe fossilifère inférieur*, Labèche. — *Terrain cumbrien*, en partie, Sedgwick. — *Formation snowdonienne*, Huot. — *Terrain cumbrien*, E. de Beaumont. — *Terrain silurien inférieur*, en partie, Murchison, d'Orbigny. — *Faune primordiale*, Barrande.

Historique. — Dans sa classification des terrains (1832) Labèche réunissait sous le nom de *groupe fossilifère inférieur* les plus anciennes strates renfermant des débris de corps organisés. Ce groupe correspondait à une partie du *terrain de transition inférieur*. En 1835, M. Murchison le considérait comme formant une partie intégrante de son *système silurien;* mais sa manière de voir n'était pas adoptée par M. Sedgwick qui venait alors de créer le nom de *cambrien* pour l'affecter à un ensemble d'assises comprenant le groupe fossilifère inférieur de Labèche et presque la moitié du terrain silurien de M. Murchison; le nom de cambrien était emprunté à une petite peuplade celtique, les Cambres, qui avait joué un rôle dans l'histoire de l'Angleterre. Plus tard, M. Elie de Beaumont, adoptant un moyen terme entre les opinions émises par MM. Murchison et Sedgwick, proposait de considérer comme formant un groupe à part la partie inférieure du terrain silurien et de donner à ce groupe moins d'importance que ne lui en accordait M. Sedgwick; puis, afin d'affecter un nom nouveau à une chose nouvelle, il proposait de remplacer le nom de cambrien par celui de *cumbrien*, du Cumberland, où ce groupe occupe une vaste étendue. Cette dernière expression a été généralement adoptée et ce qui permet de penser qu'elle restera dans la science, ainsi que la chose qu'elle désigne, c'est que M. Barrande a démontré que le terrain cumbrien renferme une faune indépendante qu'il a appelée « faune première ou primordiale; » nous verrons du reste que M. Barrande, tout en formulant cette manière de voir, n'adopte pas l'expression de *terrain cumbrien*.

Distribution géographique; mers de la période cumbrienne. — Les parties de l'Europe qui, lors de la période cumbrienne, se trou-

vaient au dessus des eaux, étaient: la Scandinavie; le nord de l'Ecosse; la Vendée et la partie occidentale de la Bretagne formant une île qui se prolongeait vers l'ouest et qui comprenait, sans doute, une portion de la Cornouailles; la Galice, le nord du Portugal et tout le nord ouest de l'Espagne; la partie orientale de la Catalogne, depuis Barcelone jusqu'aux environs de Perpignan; le plateau central de la France se prolongeant sur l'emplacement occupé aujourd'hui par les Vosges et les Alpes; les montagnes des Maures et de l'Estérel se rattachant à une île qui comprenait également l'ouest de la Corse. Les contrées que je viens d'énumérer constituaient autant d'îles groupées sous forme d'archipel; c'est dans l'espace compris entre ces îles que les strates cumbriennes se sont déposées et peuvent être retrouvées.

Pétrographie, division du terrain cumbrien en deux étages. — Les roches calcaires sont relativement assez rares dans ce terrain qui est surtout composé de schistes argileux ou siliceux, de quarzites et de roches arénacées ou conglomérées se rapprochant plus ou moins, par leur nature ou leur nuance, du type des grauwackes.

Le terrain cumbrien peut se diviser en deux étages, comprenant chacun divers dépôts dont la répartition, telle que nous l'indiquerons tout à l'heure, doit être considérée comme provisoire. De nouvelles observations auront sans doute pour effet de la modifier et de la rendre plus exacte.

Dans le terrain cumbrien on doit comprendre, non seulement toutes les strates fossilifères les plus anciennes, mais aussi celles qui, antérieures au terrain silurien et ne renfermant pas de débris de corps organisés, sont composées, en totalité ou en partie, d'éléments plus ou moins volumineux

empruntés aux roches préexistantes; la présence de ces éléments, qui ont déterminé la formation de grès ou de conglomérats, montre que quelques portions de l'écorce terrestre étaient émergées, et que la période cumbrienne avait commencé, lorsque ces dernières strates se sont déposées.

Le système cumbrien se compose principalement de l'ensemble des dépôts que M. Barrande a rattachés, en Bohême, à la faune primordiale et des strates qu'il considère comme étant, en Europe et dans l'Amérique du Nord, contemporaines de ces dépôts. Pour nous, le système cumbrien se complète par l'addition : 1° de la *grauwacke lie de vin* et des *grès à bilobites* qui, en Bretagne, semblent se placer à un niveau supérieur, par rapport à la faune primordiale ; 2° des assises qui, en Irlande et dans le pays de Galles, sont antérieures à cette même faune et que l'on réunit sous le nom de groupe de Bangor.

Le système cumbrien est certainement destiné à prendre une extension de plus en plus grande vers sa partie inférieure et à s'accroître, aux dépens du terrain azoïque, des strates que nous rattachons encore à ce dernier terrain, mais où, par suite de futures découvertes, des débris de corps organisés seront signalés. Il est assez difficile de prévoir une limite à ces annexions successives qui viendront augmenter l'importance du terrain cumbrien ; quand bien même on poserait en principe que le gneiss et les schistes cristallins ne peuvent être fossilifères, il ne serait pas démontré pour cela que ces strates essentiellement azoïques ne sauraient être contemporaines d'autres strates d'une nature différente et, par conséquent, susceptibles de contenir des témoignages de l'ancienne existence de plantes et d'animaux. La découverte de l'*Eozoon Canadense* nous commande d'être circonspects dans nos appré-

ciations sur le moment précis où la vie s'est manifestée pour la première fois sur le globe (*antè*, page 301).

Toutefois nous croyons pouvoir admettre, avec M. Barrande, que « les rares fossiles découverts dans les horizons antérieurs à celui de la faune primordiale sont des êtres sporadiques, avant-coureurs de cette faune; il reste peu d'espoir de voir une série de fossiles, assez nombreuse pour mériter le nom de faune, se manifester dans les terrains que nous nommons azoïques. Notre opinion à ce sujet se fonde principalement sur les considérations suivantes. La faune actuelle est la plus riche de toutes celles qui ont existé, si l'on compte les embranchements, les classes, les familles et les types quelconques qui la composent. A partir de cet horizon, si l'on parcourt l'échelle géologique, on voit disparaître, à chaque degré, quelques uns des types les plus élevés dans l'organisation. Cette disparition se fait d'une manière progressive, mais un peu irrégulière, en raison de la profondeur ou de l'ancienneté relative des faunes. On pourrait cependant dire que celles-ci se réduisent suivant une progression arithmétique, qui fait disparaître d'abord certaines classes et puis l'embranchement tout entier des vertébrés. Les autres embranchements éprouvent une réduction analogue, de sorte que, lorsque nous parvenons sur l'horizon de la faune primordiale, nous ne trouvons plus qu'une seule famille développée, celle des trilobites, représentant les articulés, et quelques espèces isolées, avant-coureurs sporadiques des mollusques et des radiaires (1). Cette loi de réduction graduelle du nombre des types organiques, à mesure qu'on s'enfonce dans la série verticale des faunes, nous paraît

(1) Cet appauvrissement, qui s'effectue d'une manière très lente, mais réelle, depuis l'époque actuelle jusqu'aux premiers temps géologiques, est mis en évidence par le tableau de la page 296, tome III.

si bien établie, qu'il nous semblerait impossible de concevoir qu'elle ne dût pas s'appliquer également au dessous de l'horizon de la faune primordiale. Or, si nous concevons par la pensée des faunes antérieures, et par conséquent plus réduites, de quoi pourront-elles se composer, si ce n'est de quelques espèces isolées? Nous arrivons donc, par cette considération, à reconnaître un commencement indubitable de la vie organique, si ce n'est absolument sur l'horizon de la faune primordiale, du moins à une distance verticale qui ne saurait être considérable. »

Flore et faune de la période cumbrienne. — Les caractères généraux de la faune cumbrienne sont l'absence de vertébrés et la prédominance des trilobites. Les trilobites de la période cumbrienne sont surtout caractérisés par le grand développement du thorax et l'exiguïté relative du pygidium : les genres *Sao* et *Ellipsocephalus* sont spéciaux à cette période. Il ne faut pas perdre de vue que la faune dite primordiale, dont il a été déjà question (*antè*, page 300), ne constitue qu'une partie de la faune cumbrienne.

La flore cumbrienne ne se compose, du moins dans l'état actuel de nos connaissances, que de fucoïdes, c'est à dire de végétaux marins, à l'exception de végétaux terrestres.

Le système cumbrien dans les Iles Britanniques ; sa division en deux étages. — Le système cumbrien, dont le type se trouve dans les Iles Britanniques, y occupe une partie de la Cornouailles, toute la partie occidentale du pays de Galles et le Cumberland ; il se montre aussi vers le sud de l'Ecosse et dans la partie orientale de l'Irlande. Ces divers points où le terrain cumbrien apparaît font partie d'un seul et même ensemble, placé au centre de la

Grande Bretagne et caché en partie sous les eaux du canal de Saint Georges et de la mer d'Irlande. Dans toute cette région, le système cumbrien peut se diviser en deux étages.

L'étage *inférieur*, ou *formation de Bangor,* est partiellement représenté, dans le pays de Galles, par les *Llamberis slates* et par les *Harlech grits,* constituant une assise dont la puissance totale dépasse 450 mètres. Cet étage reparaît en Irlande, de l'autre côté du canal Saint Georges; c'est là que se trouvent les couches à *Oldhamia.*

L'étage *supérieur* comprend, dans le pays de Galles, les *schistes à lingules* (*lingula-flags*), formant une assise dont l'épaisseur est de 400 à 600 mètres. Nous proposons de donner à cet étage le nom de *groupe de Malvern.*

La chaîne du Longmynd, située dans le pays de Galles, est composée de schistes qui dépendent du système cumbrien; ces schistes, étudiés par M. Salter, lui ont montré : 1° quelques formes incertaines, rangées parmi les fucoïdes, sous le nom de *Chondrites ;* 2° des tubes ou perforations attribuées à des vers; 3° des impressions assemblées par paires et considérées comme étant la double ouverture que font sur le rivage certains annélides du genre *Arenicole* ; 4° quelques fragments de trilobite.

Le système cumbrien dans les autres contrées de l'Europe. — Le terrain cumbrien est très développé dans la Bohême : son épaisseur est de 400 mètres environ ; il est composé de schistes argileux dont toutes les apparences contrastent avec celles des roches siliceuses qui renferment la faune seconde ; une grande masse de porphyre est intercalée entre les terrains cumbrien et silurien.

En Suède, le terrain cumbrien est représenté par les *schistes*

alunifères, avec *Paradoxides*, *Olenus*, *Agnostus* et autres genres de trilobites; ces schistes reposent sur un grès à fucoïdes. Quelques géologues rattachent au terrain cumbrien le *grès à Ungulites* ou à *Obolus* des environs de Saint Pétersbourg.

En Bretagne, on peut considérer, comme correspondant au système cumbrien, les *schistes rouges* et les *grauwackes lie de vin* placées au dessous de l'horizon des schistes ardoisiers d'Angers; on peut encore rapporter à ce système les *grès à bilobites* et les *grès blancs à Scolithus linearis* qui s'y montrent dans une situation semblable.

D'après M. de Verneuil, le système cumbrien existe dans le centre et le nord ouest de l'Espagne, où il est constitué par des couches à *Paradoxides*.

III. — SYSTÈME SILURIEN.

Synonymie. — *Terrain de transition moyen* et *supérieur*. — *Groupe de la grauwacke*, Labèche et quelques auteurs allemands. — *Etage ampélitique*, Cordier. — *Terrain ardoisier*, Omalius d'Halloy. — *Formation caradocienne*, Huot. — *Système silurien*, en partie, Murchison, Sedgwick. — *Etages silurien* et *Murchisonien*, d'Orbigny. — *Faunes seconde* et *troisième*, Barrande.

Historique. — En 1835, la partie supérieure du terrain de transition était encore désignée sous le nom de *groupe de la grauwacke*, lorsque M. Murchison proposa de remplacer cette désignation par celle de *système* ou *terrain silurien*. Depuis plusieurs années, il avait étudié ce terrain avec soin dans les comtés de l'ouest de l'Angleterre et dans le pays de Galles; le premier résultat de ses recherches avait été commu-

niqué, en 1831, à l'association britannique réunie à York. Le nom de silurien était emprunté aux Silures, ancienne peuplade celtique qui s'était défendue avec acharnement contre les Romains et qui habitait cette partie du pays de Galles appelée le Shropshire. La nouvelle dénomination proposée par M. Murchison fut immédiatement adoptée par tous les géologues et l'existence du terrain auquel elle était affectée fut reconnue sur un grand nombre de points de l'Europe et du monde entier. Pourtant tous les géologues ne limitent pas le terrain silurien de la même manière que le fait M. Murchison. Nous venons de voir que plusieurs d'entre eux détachent de la partie inférieure du système silurien, tel que M. Murchison l'a défini, quelques assises pour en faire le terrain cumbrien.

Distribution géographique; mers de la période silurienne. — A la fin de la période cumbrienne, le mouvement ascensionnel du sol a eu pour effets d'amener l'apparition de quelques îles nouvelles, d'augmenter l'étendue de celles qui existaient déjà et de les souder quelquefois entre elles; les mers ont été moins ouvertes dans tous les sens et leurs rivages se sont rapprochés. En Europe, les terres et les eaux devaient offrir alors à peu près le même mode de répartition et la même étendue relative que dans la partie de l'Océanie actuellement comprise entre l'Australie et le sud est de l'Asie; il n'y avait pas de continents proprement dits.

Au milieu de l'Europe s'élevait une île très vaste comprenant le centre de la France, le nord de l'Italie, la Suisse et une partie de l'Allemagne. Autour de cette île principale, se groupaient d'autres portions de terre ferme correspondant aux régions que j'ai énumérées comme étant déjà émergées lors de la période cumbrienne. La mer occupait tout l'espace compris entre le

nord de l'Ecosse, le pays de Galles, la Bretagne, le bord septentrional du plateau central de la France et les Vosges. Vers le nord est, cette mer formait un détroit qui se prolongeait entre la Scandinavie et le nord de la Russie. Vers l'ouest, elle contournait le massif breton ou peut être la Cornouailles, pour aller rejoindre sans doute l'autre mer qui occupait le sud ouest de l'Europe. Celle-ci recouvrait presque toute l'Espagne et venait, dans le département de l'Hérault, baigner le rivage méridional du plateau central de la France. On ne possède pas de documents suffisants pour indiquer comment l'île centrale dont nous venons de parler se terminait vers sa partie orientale; pourtant le terrain silurien paraît avoir été signalé dans le Tyrol, près de Lend, à Dieuten; il existe en Bohême, où il occupe l'emplacement d'un étroit bassin qui, d'après M. Barrande, se trouvait notablement isolé, ou, du moins, n'avait que des communications très indirectes avec la mer silurienne de la zone septentrionale.

Les contrées de l'Europe où le terrain silurien atteint le plus d'extension et où il est le mieux connu sont l'Ardenne, la Bretagne, le pays de Galles, où il a été si bien étudié par M. Murchison, la Suède et la Bohême, où il a fait l'objet des admirables travaux de M. Barrande. D'après ce qui précède, on voit que le terrain silurien, comme tout le terrain paléozoïque, est plus développé dans le nord et l'ouest de l'Europe que dans l'est et le sud; c'est tout le contraire que nous aurons à constater pour les terrains de série néozoïque.

Pétrographie. — Parmi les roches que l'on rencontre habituellement dans le terrain silurien, je citerai d'abord les schistes argileux qui passent fréquemment aux phyllades ou schistes ardoisiers; à Fumay (Ardennes) et à Angers, les ardoises don-

nent lieu à une exploitation très active. Les schistes ampélitiques procèdent également des schistes argileux par le mélange de matières charbonneuses en relation avec les graptolites, car c'est ordinairement dans ces schistes que les graptolites ont leur gisement habituel (1); ces schistes ampélitiques, qui ont valu au terrain silurien le nom que Cordier avait proposé de lui donner, sont quelquefois exploités, notamment à Poligné, en Bretagne: ils fournissent une matière noire, traçante, dont on fait des crayons grossiers. Les schistes argileux deviennent, sur certains points, siliceux, et, sur d'autres, calcarifères, par le mélange de la silice ou du carbonate de chaux qui, à l'état de pureté plus ou moins complète, constituent des quarzites ou des calcaires; ceux-ci offrent des nuances sombres et se montrent en bancs puissants ou en amas concrétionnés. La grauwacke abonde dans le terrain silurien, d'où le nom de groupe de la grauwacke qu'on lui donne quelquefois. Mentionnons, enfin, parmi les roches du système silurien, l'anthracite, dont il existe dans quelques pays des gisements peu importants.

Faune et flore du système silurien. — La faune silurienne est d'abord caractérisée par l'absence de vertébrés ou, du moins, de leurs débris dans les strates sédimentaires; les premiers témoignages de l'existence d'animaux appartenant

(1) La nuance noirâtre des roches où les graptolites abondent est due à la forte proportion de carbone existant dans ces roches. Pour expliquer la présence du carbone, il faut admettre ou que le tissu des graptolites était constitué en majeure partie d'éléments carbonés, ou, ce qui me paraît plus probable, que les graptolites se développaient principalement sur les points où existaient des prairies sous marines d'algues et de fucus dont la décomposition a fourni la matière noirâtre des schistes ampélitiques.

à cet embranchement sont fournis par le lit à ossements de poissons du Ludlow supérieur, où l'on trouve notamment des rayons de nageoires du genre *Onchus*.

Les trilobites atteignent leur maximum de développement; la plupart de leurs espèces sont remarquables par l'étendue de la tête et du pygidium et par la petitesse relative du thorax. Les genres *Trinucleus, Asaphus, Ogygia, Illœnus*, etc., sont spéciaux à la période silurienne.

Les mollusques et surtout les brachiopodes, les crinoïdes et principalement les cystidées, jouent, ainsi que les polypiers, un rôle important dans la faune silurienne. Les céphalopodes sont en majeure partie représentés par les *Obolus*, genre spécial, et par les *Orthoceras* à large siphon marginal; les orthidées sont les principaux représentants des brachiopodes qui, entre autres genres spéciaux, comptent les *Olenus*.

Les graptolites, qui par moments pullulaient dans les mers, fournissent un des caractères essentiels de la période silurienne puisqu'ils n'ont vécu que pendant cette période.

D'après le recensement fait par M. Gœppert, en 1859, la flore silurienne comprend une vingtaine d'espèces appartenant toutes aux algues. On voit que cette flore était exclusivement marine; on doit conclure de là, non que le sol émergé pendant la période silurienne était dépourvu de végétation, mais que les circonstances n'étaient pas favorables à la fossilisation des plantes terrestres.

Division du système silurien en quatre étages. — Nous partageons le système silurien en deux parties (1) et chacune d'elles en deux étages, ce qui donne pour tout le système quatre étages

(1) Ce que nous avons dit relativement au système du Jemtland (tome II. page 459) vient à l'appui de cette division du terrain silurien en deux parties.

dont les types existent dans le pays de Galles (1). Ces quatre étages sont : le *groupe de Llandeilo* et le *groupe de Caradoc*, pour le terrain silurien inférieur ; le *groupe de Wenlock* et le *groupe de Ludlow*, pour le terrain silurien supérieur. — Le système silurien inférieur correspond à la *faune seconde* de Barrande, et ne comprend à peu près que la moitié du silurien inférieur de M. Murchison et du cambrien de M. Sedgwick ; le système silurien supérieur correspond à la *faune troisième* de M. Barrande et comprend le terrain silurien supérieur de M. Murchison et de M. Sedgwick.

Le *groupe de Llandeilo* commence, dans le pays de Galles, par une succession de lits schisteux alternant avec des roches trappéennes et renfermant des trilobites ; la puissance de cet ensemble est de plus de 3000 mètres. A un niveau supérieur se trouve un schiste ardoisier noir, charbonneux, d'une épaisseur considérable, contenant des graptolites et quelquefois des lits d'anthracite. — La partie supérieure de ce groupe est constituée par les *ardoises* (*flags*) *de Llandeilo* : ce sont des schistes micacés de couleur foncée, souvent calcarifères, placés au dessus d'une masse très épaisse d'argiles schisteuses or-

(1) La principauté de Galles (en anglais, *Wales*), qui possède les types des terrains cumbrien et silurien et où les terrains de la série paléozoïque se montrent avec une si grande puissance, était la *Cambria* des anciens. Elle occupe la partie occidentale de la Grande Bretagne ; elle est bornée au nord par la mer d'Irlande, à l'ouest par le canal de Saint Georges, au sud par le canal de Bristol, à l'est par les comtés de Monmouth, de Hereford et de Chester qui font partie de l'Angleterre proprement dite. C'est une contrée très accidentée, coupée de profondes vallées et traversée par des montagnes dont la plus haute est le Snowdon ayant pour altitude 1089 mètres. Le Caradoc est une montagne du pays de Galles ; Ludlow, Wenlock et Llandeilo sont des villes situées, les deux premières dans le comté de Shrop, à l'est de la principauté et la troisième au sud, dans le comté de Caermarthen.

dinairement noires. Le *calcaire de Bala* forme, dans la Galles du nord, le terme correspondant des ardoises de Llandeilo.

Le *groupe de Caradoc* est constitué par le *calcaire de Woolhope* et surtout par le *grès de Caradoc*; ce grès est argileux, quelquefois fissile, et forme une masse épaisse de 200 mètres. On rattache également à ce groupe des grès mêlés de schistes qui se montrent avec une puissance de 600 mètres dans les régions hautes et disloquées de la Galles du nord, ainsi que les grès durs et quartzeux du Westmoreland.

Le *groupe de Wenlock*, dont la puissance totale est de plus de 600 mètres, comprend le *schiste de Wenlock* (*Wenlock shale*) et le *calcaire de Wenlock*; ce calcaire, très riche en fossiles, était autrefois bien connu des collectionneurs sous le nom de *calcaire de Dudley*. Il est subcristallin, rempli de coraux ou d'encrines, et accompagné de concrétions très volumineuses (*ball stones*), mesurant parfois jusqu'à 25 mètres de diamètre et engagées dans une masse argileuse.

Le *groupe de Ludlow* a une puissance de près de 900 mètres. Il se divise en trois assises : 1° Le *schiste de Ludlow inférieur*, dépôt argileux d'un gris foncé; 2° le *calcaire d'Aymestry*, subcristallin et argileux, ayant parfois 15 mètres d'épaisseur; 3° le *Ludlow supérieur*, constitué par un grès micacé grisâtre qui, plus haut, devient rougeâtre ou verdâtre et se divise en minces feuillets; il constitue alors le *tilestone* ou pierre à tuile. Le terrain silurien se termine par le *lit à ossements de Ludlow* qu'on n'a observé encore qu'en Angleterre; ce lit, dont l'épaisseur ne dépasse jamais 0,m 25, a été suivi sur une longueur de plus de 70 kilomètres (1).

Le système silurien dessine dans le pays de Galles une zone

(1) Ce résumé sur le terrain silurien du pays de Galles est extrait du *Manuel de géologie* par sir Lyell.

variable de largeur qui se prolonge du sud au nord en contournant à l'est le massif de terrain cumbrien dont se compose la partie occidentale de cette région.

Les principaux fossiles du terrain silurien du pays de Galles sont, pour le groupe de Llandeilo : *Asaphus tyrannus, Ogygia Buchii*, *Orthis vespertilio,* etc.; pour le groupe de Caradoc: *Pentamerus lævis, P. oblongus*, etc.; pour le groupe de Wenlock : *Calymene Blumenbachii, Phacops caudatus, Leptæna depressa, Catenipora escharoïdes, Cyathophyllum turbinatum, Graptolites Ludensis,* etc.; pour le groupe de Ludlow : *Orthoceras Ludense, Lituites giganteus, Orthis orbicularis, Pentamerus Knightii, Lingula Levisii, Rhynchonella Wilsoni,* etc.

Le système silurien dans les autres contrées de l'Europe. — Le massif breton présente deux plateaux allongés qui se dirigent, l'un de l'est à l'ouest, entre Brest et Alençon, l'autre du nord ouest au sud est, entre Quimper et Parthenay. L'espace angulaire compris entre ces deux plateaux ou chaînes de montagnes est divisé en deux parties par une saillie de terrain qui, sur les limites des départements du Morbihan et des Côtes du Nord, établit entre ces chaînes un trait d'union; cette saillie de terrain détermine deux bassins que l'on appelle « bassin de Rennes » et « bassin de Brest » en donnant à chacun d'eux le nom de la principale ville qui s'y trouve située. Les chaînes de montagnes dont il vient d'être question sont exclusivement formées de terrain primitif, tandis que les bassins qu'elles limitent sont occupés par des strates appartenant aux divers termes de la série trilobitique. Au nord de la chaîne septentrionale, le terrain trilobitique occupe une troisième zone dans les départements de l'Orne et du Calvados. Les terrains anciens du massif breton ont été moins bien étudiés et sont moins connus

que ceux du pays de Galles et de la Bohême. Parmi les causes auxquelles il faut attribuer ce résultat, nous mentionnerons, avec M. Dalimier, la rareté des débris organiques, leur mauvais état dans les couches où l'on réussit à les découvrir, les dislocations qui ont bouleversé le sol de la Bretagne, sans le porter à une grande élévation comme dans les Alpes, l'isolement de la Bretagne, son éloignement de Paris, et la difficulté de voyager à travers des landes désertes.

Dans le massif breton, le système silurien est représenté : 1° par les *ardoises*, avec *Calymene Tristani*, d'Angers, de Parennes (Mayenne), etc. Dans le plateau méridional de la Bretagne, ces ardoises sont associées à des grès fossilifères et reposent souvent sur du minerai de fer. Elles correspondent à la partie inférieure du groupe de Llandeilo, dont la partie supérieure paraît avoir pour équivalent, dans le massif breton, les *schistes ampélitiques* de Poligné, etc., avec *Graptolites colonus*; 2° les *grès fossilifères* de Gahard, de May (Calvados), etc., qui se placent sur le même niveau que le grès de Caradoc; 3° les *schistes* avec ampélites et nodules calcaires renfermant *Cardiola interrupta, Orthoceratites pelagium* et des graptolites ; ces schistes, qui correspondent au terrain silurien supérieur, s'observent notamment à Saint Jean sur Erve (Sarthe) et à Saint Sauveur (Calvados).

Le terrain silurien de la Scandinavie a rempli des bassins particuliers, séparés les uns des autres par des collines granito-gneissiques; mais probablement il existait entre eux des communications. A la base du terrain silurien se trouvent habituellement, en Suède et en Norwège, des couches quartzeuses, recouvertes de schistes ampélito-alunifères et contenant des fucoïdes; les schistes renferment des trilobites des genres *Paradoxides*, *Olenus*, etc., caractéristiques de la faune primor-

diale. Les deux groupes du système silurien sont représentés, le premier par des assises de grès quartzeux, de schistes divers et de calcaires; le second par des roches calcaréo-schisteuses. Chacun de ces groupes renferme de nombreux fossiles qui ne permettent pas d'hésiter sur leurs véritables relations avec les strates correspondantes des autres parties de l'Europe.

L'Ardenne doit son aspect uniforme à l'uniformité du terrain qui la compose et que M. d'Omalius d'Halloy a nommé depuis longtemps *terrain ardoisier*. Ce terrain présente partout des roches schisteuses dont l'ardoise véritable, exploitée à Fumay, Rimogne, Deville, Couvin, etc., n'est qu'une manière d'être. Ces roches schisteuses renferment des couches subordonnées de grès micacés, de grauwackes, de quarzites, des bancs d'un calcaire sublamellaire gris bleuâtre, etc. Le schiste argileux passe souvent à des ampélites graphiques et renferme quelquefois des veinules d'anthracite.

Dumont divisait le *terrain ardennais* ou *ardoisier* proprement dit en trois systèmes : 1° le *système devillien,* auquel appartiennent les ardoises de Fumay; 2° le *système revinien*, caractérisé par les quarzites des environs de Revin; 3° le *système salmien,* ayant pour type le schiste coticule ou pierre à rasoir des environs de Salm. M. Gosselet rappelle que tous les géologues sont aujourd'hui d'accord pour considérer le terrain ardennais comme appartenant au système silurien, bien que l'on n'y ait pas encore trouvé de fossiles authentiques. Ce géologue a signalé, il y a quelques années, la présence de fossiles appartenant au terrain silurien près de Gembloux, dans le Brabant et aux environs de Fosse, au S. O. de Namur; c'est la première fois, dit-il, que l'on constate d'une manière certaine l'existence des fossiles de ce terrain dans toute la région comprise entre le Hainaut et le Hartz.

Au centre de la Bohême, le terrain silurien occupe un bassin dont la longueur est de 148 kilomètres et dont la largeur varie de 90 à 74 kilomètres : les assises dont il se compose y présentent nettement la stratification dite en fond de bateau. M. Barrande partage le terrain silurien du centre de la Bohême en deux divisions, dont chacune comprend plusieurs étages qu'il désigne par des lettres alphabétiques, à partir de la base granitique jusqu'au sommet. La division inférieure comprend les quatre étages A, B, C, D, et la division supérieure les quatre étages E, F, G, H. Le fait principal sur lequel repose la distinction de ces deux divisions consiste dans la nature des faunes différentes qui caractérisent chacune d'elles. Elles se distinguent en outre par leurs caractères pétrographiques ; la division inférieure se compose de roches de nature argileuse ou siliceuse, à l'exclusion presque absolue du carbonate de chaux ; au contraire, la division supérieure présente presque uniquement des roches calcaires formant une grande masse qui a pour base et pour couronnement des dépôts de schistes argileux, relativement très peu développés. La limite entre les deux divisions est tracée d'une manière très nette par une masse de trapp qui a envahi toute la surface du bassin silurien. Les étages H et G correspondent au groupe de Ludlow, F et E au groupe de Wenlock, D aux groupes de Caradoc et de Llandeilo, C au groupe de Malvern. Quant aux étages B et A, formés de schistes et de conglomérats, M. Barrande les rattache au terrain azoïque; mais, bien qu'en Bohême ils ne renferment pas de fossiles, nous les considérons comme appartenant au terrain cumbrien inférieur.

D'après MM. de Verneuil et Ed. Collomb, l'étage silurien inférieur occupe une étendue considérable dans le nord ouest et l'ouest de l'Espagne, ainsi que dans le Portugal. L'étage

diverse nature, fréquemment rougeâtres, et qui ont valu au terrain dévonien le nom qu'il portait jadis, celui de *vieux grès rouge*. Les calcaires sont très fossilifères; ils présentent quelquefois une structure amygdalaire due à l'abondance des goniatites ou des clyménies. Le marbre de Campan, tantôt vert, tantôt rouge, appartient au terrain dévonien des Pyrénées; il est pétri de goniatites. Le calcaire de Givet fournit également des marbres très estimés : tel est le glageon fleuri, qui présente sur un fond noir des dessins blancs dus à des gastéropodes. A la partie supérieure du terrain dévonien se montrent sur quelques points, et notamment dans le département de Maine et Loire, des gisements d'anthracite.

Le système dévonien offre deux faciès bien distincts, l'un où abondent les grès, l'autre où dominent les calcaires. Le faciès gréseux apparaît dans le nord de l'Angleterre, tandis que le faciès calcaire existe dans le Devonshire méridional. Lorsque les deux faciès sont superposés, comme en Belgique, le grès rouge se trouve ordinairement placé à la partie inférieure.

Faune; flore. — Les reptiles font une première et seule apparition avec le *Telerpeton Elginense* (*antè*, page 288). Les poissons forment par contre, pour la première fois, une faune assez complète. Ils présentent des formes spéciales et caractéristiques et leur ensemble est certainement un des traits paléontologiques les plus remarquables de la période dévonienne. Ces poissons avaient des caractères anatomiques qui ont fait dire à M. Agassiz qu'ils représentaient l'âge embryonnaire du règne des poissons. Chez eux, les corps des vertèbres manquaient et étaient remplacés par une corde dorsale gélatineuse comme dans l'embryon; le crâne avait un développement incomplet; la peau était recouverte d'énormes plaques

muns, et qui reçut alors, en y comprenant *l'old-red sandstone*, le nom de *système dévonien.* » (D'Archiac.)

Distribution géographique; mers de la période dévonienne. — Le mode de répartition des terres et des mers était à peu près le même lors de la période dévonienne que lors de la période silurienne. L'océan avait déserté certains points pour en envahir d'autres, mais, toutefois, le résultat définitif de ces déplacements avait été un faible accroissement dans l'étendue des terres émergées.

Les deux contrées de l'Europe où le terrain dévonien est le plus développé sont la partie occidentale de l'Angleterre et la Belgique. Ces deux régions méritaient au même titre d'être choisies pour types du système dévonien. Si le privilége de fournir aux géologues les termes de comparaison pour l'étude de ce système est échu au pays de Galles, c'est que la géologie de ce pays a été étudiée avant celle de la Belgique; elle a d'ailleurs fait l'objet des travaux de M. Murchison, travaux qui ont été le point de départ dans l'étude du terrain paléozoïque. Mais, à présent, les terrains anciens de la Belgique me paraissent suffisamment connus pour qu'il soit permis de chercher dans ce pays, plus central que le pays de Galles par rapport à l'Europe, les principales bases d'une classification des strates dévoniennes.

Pétrographie. — Si l'on compare les terrains silurien et dévonien sous le rapport de leur constitution pétrographique, on voit, dans ce dernier terrain, les calcaires augmenter d'importance aux dépens des schistes qui se montrent moins répandus. Les roches prennent des nuances plus vives; les grauwackes à la nuance sombre sont remplacées par des grès de

diverse nature, fréquemment rougeâtres, et qui ont valu au terrain dévonien le nom qu'il portait jadis, celui de *vieux grès rouge*. Les calcaires sont très fossilifères; ils présentent quelquefois une structure amygdalaire due à l'abondance des goniatites ou des clyménies. Le marbre de Campan, tantôt vert, tantôt rouge, appartient au terrain dévonien des Pyrénées; il est pétri de goniatites. Le calcaire de Givet fournit également des marbres très estimés : tel est le glageon fleuri, qui présente sur un fond noir des dessins blancs dus à des gastéropodes. A la partie supérieure du terrain dévonien se montrent sur quelques points, et notamment dans le département de Maine et Loire, des gisements d'anthracite.

Le système dévonien offre deux faciès bien distincts, l'un où abondent les grès, l'autre où dominent les calcaires. Le faciès gréseux apparaît dans le nord de l'Angleterre, tandis que le faciès calcaire existe dans le Devonshire méridional. Lorsque les deux faciès sont superposés, comme en Belgique, le grès rouge se trouve ordinairement placé à la partie inférieure.

Faune; flore. — Les reptiles font une première et seule apparition avec le *Telerpeton Elginense* (*antè*, page 288). Les poissons forment par contre, pour la première fois, une faune assez complète. Ils présentent des formes spéciales et caractéristiques et leur ensemble est certainement un des traits paléontologiques les plus remarquables de la période dévonienne. Ces poissons avaient des caractères anatomiques qui ont fait dire à M. Agassiz qu'ils représentaient l'âge embryonnaire du règne des poissons. Chez eux, les corps des vertèbres manquaient et étaient remplacés par une corde dorsale gélatineuse comme dans l'embryon; le crâne avait un développement incomplet; la peau était recouverte d'énormes plaques

CARTES DES

Londres

Rouen

Caen

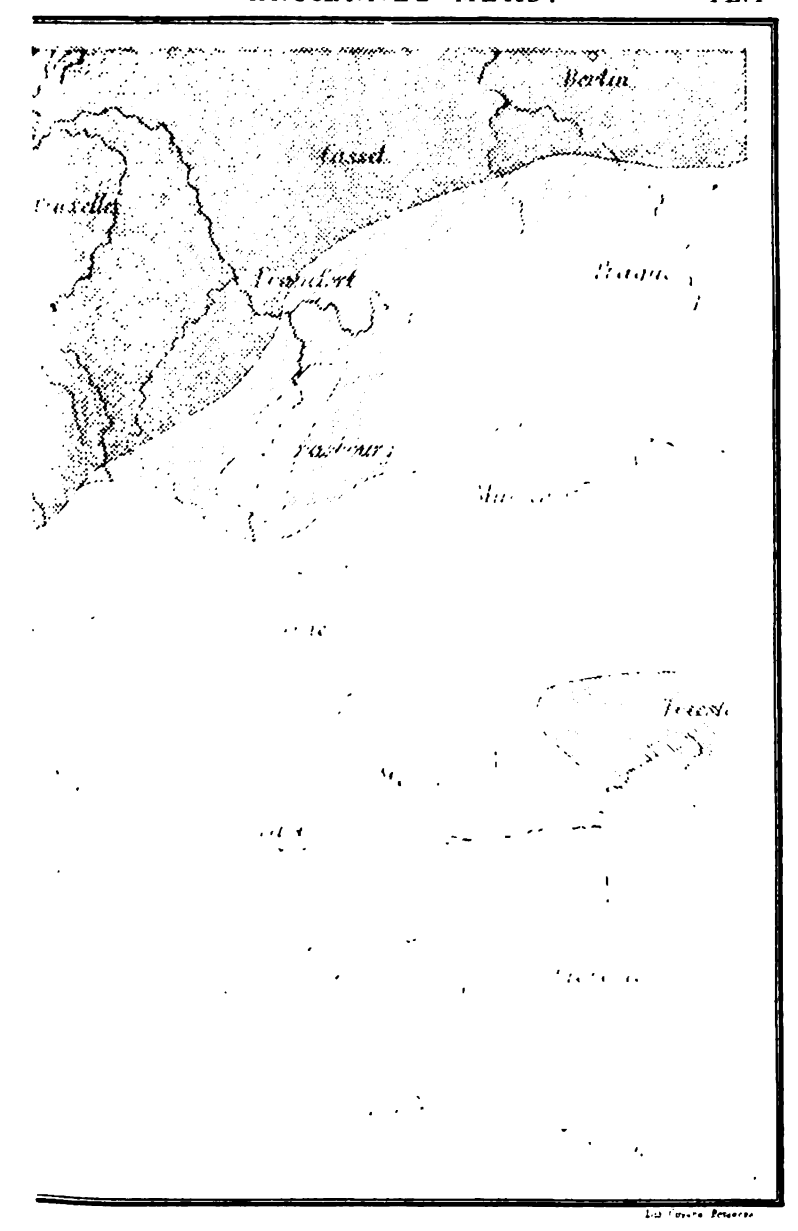
Orléans

MERS

SILURIENNE

CARBONIFÈRE

ANCIENNES MERS. PL. I



osseuses; les nageoires présentaient une disposition toute particulière, etc. Ils appartenaient tous à la sous-classe des ganoïdes (*Cephalaspis*, *Pterichthys*, etc.) ou à celle des placoïdes. Les crustacés sont moins abondants que pendant la période silurienne; ils continuent à être surtout représentés par le groupe des trilobites; ceux-ci sont pourtant bien moins nombreux et ne comptent plus qu'un genre spécial, le genre *Jonotus*. Les mollusques ont, dans le terrain dévonien, l'importance qu'on leur retrouve dans tous les terrains suivants; la physionomie générale de leur faune rappelle beaucoup celle du terrain silurien. Ce que nous disons des mollusques s'applique également aux échinodermes et aux polypiers. Le genre *Clymenia*, appartenant à la classe des céphalopodes, est spécial à la période dévonienne. (Pictet.)

La flore dévonienne, dans le recensement fait par M. Gœppert, en 1859, comprend 62 espèces; 9 seulement sont des algues; les autres sont des plantes terrestres, dépendant des mêmes familles que celles dont se compose la flore houillère. La *Sigillaria Hausmanni* du terrain dévonien inférieur (*antè*, page 281) est, jusqu'à présent, le plus ancien témoignage direct de l'existence des plantes terrestres dans les temps passés.

Le système dévonien en Belgique. — Monnet, le premier auteur qui ait parlé d'une manière scientifique de l'Ardenne et du Hainaut, y distinguait le *pays des charbons*, le *pays des marbres* et le *pays des ardoises*; ces *pays* correspondaient respectivement à ce que nous désignons aujourd'hui sous les noms de terrain houiller, de terrains carbonifère et dévonien, et de terrain silurien. En 1808, dans l'ouvrage où il posait les fondements de la géologie du nord de la France, M. d'Omalius d'Halloy partageait le terrain de transition de cette contrée en *for-*

mation ardoisière et *formation bituminifère*; plus tard, il remplaçait cette dernière désignation par celle d'*anthraxifère*. En 1832, Dumont adoptait la division en terrains *ardoisier*, *anthraxifère* et *houiller*, établie par Bouesnel dès 1813. En 1847, il distinguait un certain nombre de couches qui, jusque là, avaient été rangées soit dans le terrain ardoisier, soit dans le terrain anthraxifère; il en faisait un groupe intermédiaire, qu'il nommait *terrain rhénan* et qu'il divisait en trois systèmes : *s. gédinien*, *s. coblentzien* et *s. ahrien*. Il partageait le terrain anthraxifère en trois systèmes : *s. eifélien*, *s. condrusien* et *s. houiller*. Tandis que Dumont établissait sa classification en mettant complétement de côté la donnée paléontologique, ce qui ôtait à son travail une grande partie de sa valeur, M. Murchison et les géologues anglais introduisaient dans la science une classification principalement basée sur l'étude des fossiles; celle-ci était adoptée avec empressement et l'expression de *terrain dévonien* remplaçait les désignations proposées par Dumont.

Le système dévonien de la Belgique peut se partager en six étages que je vais énumérer en commençant par les plus anciens.

Groupe d'Anor. — Cet étage, qui comprend tout le terrain rhénan de Dumont, moins le système ahrien, se divise en deux assises.

1° Les *poudingues* et les *schistes gédiniens*, reposant en stratification discordante sur les tranches du terrain ardennais. Cette assise, peu fossilifère, est constituée par un poudingue quartzeux qui passe quelquefois au quarzite et que l'on observe notamment à Gépin, sur la Meuse et à Mondrepuits (Aisne). Ce poudingue est recouvert par des schistes et des phyllades, ordinairement verts, quelquefois rouges.

2° La *grauwacke à Leptœna Murchisoni*. Cette assise se compose de phyllades, de schistes, d'arkoses et de grès exploité

à Anor, près d'Hirson et à Montigny sur Meuse (Ardenne). Il renferme des fossiles assez nombreux et notamment, outre la *Leptæna Murchisoni*, le *Pleurodictyum problematicum*.

Groupe de Burnot. — Cet étage correspond au système ahrien et à une partie du système eifelien de Dumont. Il se divise également en deux assises.

1° Le *poudingue de Burnot*. Ce poudingue dessine autour du bassin méridional de la Belgique une enceinte continue qui le sépare, tant du bassin septentrional, que du bassin anthraxifère d'Aix la Chapelle. Cette assise qui, sur certains points, atteint une puissance de 2000 mètres, est à peu près dépourvue de fossiles; elle se compose de schistes, de psammites et de grès avec des bancs intercalés de poudingue. La couleur de ces roches est généralement rouge; quelquefois elle est d'un vert foncé. Le poudingue est la roche la moins abondante, mais aussi la plus remarquable; quelques variétés sont exploitées, notamment près d'Huy, pour fabriquer des meules et construire des hauts fourneaux. M. Gosselet est porté à rattacher à cette assise le grès d'un noir verdâtre et la grauwacke d'Ahrweiler dont Dumont avait fait l'étage ahrien; ces grès, exploités à Montigny sur Meuse pour fournir des pavés, ne se distinguent que par leur coloration de ceux qui accompagnent le poudingue de Burnot.

2° Les *schistes à calcéoles*, formant une assise dont la puissance est au moins de 1700 mètres et qui repose en stratification concordante sur le poudingue de Burnot. Cette assise comprend des grès argileux, des schistes arénacés et des grauwackes mêlés à des bancs et à des lentilles de calcaire tantôt compacte, tantôt terreux. Parmi les fossiles caractéristiques se trouvent: *Calceola sandalina, Spirifer cultrijugatus, S. speciosus, Phacops latifrons, etc.*

Groupe du calcaire de Givet. — Le calcaire de Givet (système eifelien de Dumont) offre des caractères si tranchés par ses fossiles et par sa nature minéralogique qu'il a été sujet à peu de discussions; seulement, les géologues qui s'en sont occupés lui ont donné des appellations différentes. Le nom sous lequel il est ici désigné lui a été donné par M. d'Omalius d'Halloy qui l'avait d'abord appelé *calcaire métallifère* à cause des nombreux filons qu'il renferme. Dumont l'appela *calcaire eifelien;* F. A. Rœmer le nomme *calcaire à strigocéphales* et son frère, Ferd. Rœmer, *calcaire de Paffrath.* Il forme tout autour du bassin méridional une zone continue qui repose sur les schistes à calcéoles entre Rocquignies et Xoris, et qui, dans le reste du bassin, est directement superposée au poudingue de Burnot. On le retrouve encore dans le bassin septentrional le long de la grande faille. Le calcaire de Givet, ordinairement très riche en débris de corps organisés, est compacte, d'un bleu foncé; il fournit des marbres très estimés. Presque toutes les cavernes de la Belgique se trouvent creusées dans ce calcaire ou dans le calcaire carbonifère.

Les principaux fossiles renfermés dans le calcaire de Givet sont: *Macrocheilus arculatus, Eomphalus rotula, Murchisonia coronata, Strigocephalus Burtini, Spirifer subcuspidatus, Bronteus Barrandei, Terebratula reticularis*, etc.

Le calcaire de Givet, selon l'expression de M. Murchison, donne au terrain dévonien sa physionomie spéciale, son droit à l'existence comme terrain indépendant; s'il n'existait pas, tout ce qui se trouve au dessus pourrait être réuni au terrain carbonifère, tout ce qui est au dessous, au terrain silurien.

Groupe de la Famenne. — Cet étage, qui correspond au système condrusien de Dumont, comprend deux assises: les *couches à Terebratula cuboïdes* et les *schistes de la Famenne.* Les

couches à *T. cuboïdes,* alternativement schisteuses et calcaires, sont liées entre elles par une faune commune. La partie la plus remarquable de ce groupe est un calcaire compacte, sans stratification, gris veiné de rouge et de vert, quelquefois complétement rouge (à Fromelennes et dans les environs de Philippeville). Il semblerait au premier abord que ce caractère minéralogique n'a que peu d'importance; cependant, on le retrouve partout où le groupe existe. Le marbre griotte des Pyrénées, le calcaire rouge de Neffièz (Hérault), le calcaire gris d'Herz, près de Grund, dans le Hartz, appartiennent au même horizon géognostique. Quant aux schistes de la Famenne, ils diffèrent à peine par leurs caractères paléontologiques des couches à *T. Cuboïdes*; ce sont des schistes argileux d'un aspect très uniforme qui constituent le sol de la Famenne et de la Fagne.

Parmi les principaux fossiles existant dans le groupe de la Famenne, nous citerons: *Terebratula cuboïdes, Productus subaculeatus, Goniatites retrorsus, Cardium palmatum, Spirifer Verneuili, Bronteus flabellifer, Spirifer Archiaci, Orthis striatula, Pentamerus galeatus,* etc.

Groupe du Condros (s. condrusien, Dumont). — M. d'Omalius d'Halloy lui a donné la désignation de *psammite du Condros,* non que le psammite en forme la roche dominante, mais parce qu'il en est le membre le plus frappant. Tel qu'on le trouve dans le Condros, c'est un grès noir ou rouge rempli de paillettes de mica disposées sur un même plan, ce qui le rend susceptible de se diviser en plaques minces, dures, sonores. La roche dominante de l'assise est un grès siliceux, gris verdâtre, très souvent un peu micacé; à Huy, il présente une belle couleur rouge amarante. Il est souvent argileux et passe alors à la grauwacke; dans certains cas, cette grauwacke est remplie d'empreintes de *Spirifer Verneuili.* On voit fré-

quemment l'élément argileux dominer; on a alors un schiste grisâtre qui se distingue toujours des schistes de la Famenne, parce qu'il n'est jamais feuilleté. Les fossiles, très rares dans les psammites et les grès siliceux, sont plus abondants dans les schistes, surtout lorsque ceux-ci se trouvent dans le voisinage des grandes masses calcaires, comme à Etrœungt, près d'Avennes. Tout le long du bord nord du bassin septentrional, il y a aussi plusieurs assises puissantes de calcaire fossilifère qui alternent avec des roches quartzo-schisteuses, ce sont les calcaires de Rhisnes et de Golzinne.

Les principaux fossiles du groupe de Condros sont : *Phacops latifrons, Avicula Damnoniensis, Terebratula concentrica, Spirifer Bouchardi, Cyathophyllum cœspitosum, Orthis Eifeliensis*, etc. Quelques fossiles, tels que *Spirifer Verneuili, Productus subaculeatus*, sont communs aux groupes de la Famenne et du Condros.

Le système dévonien en Angleterre — Ce système, dans le Devonshire, peut se partager en trois groupes qui, d'après sir Lyell, présentent les caractères suivants.

Le *groupe inférieur* paraît correspondre à la *vieille grauwacke* du Rhin, au *spirifer-sandstein* des Allemands et, sans doute aussi, aux groupes d'Anor et de Burnot de la Belgique. Il comprend le grès de Torbay, les schistes chloriteux, et les grès verdâtres ou rouges de Linton et du Foreland; ces roches renferment des *Spirifer*, des *Orthis*, etc.

Le *groupe inférieur*, qui est, en Angleterre, le représentant du calcaire de Givet, comprend les calcaires de Plymouth et de Torbay, calcaires remplis de coquilles, de trilobites et de coraux; les espèces les plus communes sont : *Favosites polymorpha, Cyathophyllum cœspitosum, Heliolites pyrifor-*

mis, Aulopora serpens, Strigocephalus Burtini, Brontes flabellifer, etc. Une vaste accumulation d'ardoises et de schistes toute pénétrée des mêmes fossiles occupe presque tout le Devonshire méridional et une grande partie de la Cornouailles. Une assise puissante de schistes et de grès se place, dans le Devonshire septentrional, vers la partie supérieure du groupe.

Le *groupe supérieur* est composé, dans le Devon septentrional, de deux assises : en bas, le grès de Marwood, avec coquilles et plantes terrestres, et au dessus, les schistes de Pilton et de Barnstaple, schistes qui sont calcarifères et qui renferment des fossiles dont plusieurs sont communs au système carbonifère. Les schistes de Barnstaple sont représentés dans la Cornouailles par les calcaires et les schistes de Peterwyn qui affleurent également de dessous le terrain carbonifère. Ces mêmes schistes de Barnstaple correspondent probablement au calcaire d'Etrœungt et le grès de Marwood avec *Cucullea Hardingii*, au psammite du Condros où se trouve le même fossile. Dans ce groupe supérieur, on rencontre le *Spirifer Verneuili*, fossile répandu sur toute l'Europe, la *Clymenia linearis*, de nombreuses goniatites (*Goniatites subsuculatus*), etc.

Dans toutes les autres parties des îles Britanniques, on trouve une grande masse de grès qui, d'après M. Murchison, comprend tout l'ensemble du terrain dévonien de la Belgique, mais qui, pour M. Scharpe, ne représenterait que les assises inférieures jusqu'aux schistes à calcéoles exclusivement. On n'y a encore trouvé que des poissons; aussi n'y a-t-il point de comparaison certaine à établir avec les couches de l'Ardenne où les fossiles de cette classe sont très rares. (Gosselet.)

De l'autre côté de la Severn, dans les comtés d'Hereford, de Worcester, de Shrop et dans la Galles du sud, le terrain dévonien reparaît, mais avec un faciès tout différent de celui qu'il

possède dans le Devonshire. Il a une puissance de 2400 à 3000 mètres, et se compose : 1° d'un conglomérat passant, à sa partie inférieure, à des grès ou à des marnes rougeâtres ou verdâtres ; 2° des marnes argileuses tachetées de rouge et de vert, avec des accidents irréguliers de calcaire impur, concrétionné, auquel on a donné le nom de *cornstone*. On trouve dans cette dernière assise des débris de poissons des genres *Onchus* et *Cephalaspis*. — Dans le sud des Grampians, on peut diviser le vieux grès rouge en trois groupes : 1° grès tégulaire et grès à paver très micacés, avec *Cephalaspis* ; 2° conglomérat recouvert par un schiste rouge avec grès et cornstone ; 3° grès jaune du comté de Fife, traversé de bandes de grès blanc, avec *Pterichthys*, *Holoptychius*, etc. Toute la région septentrionale de l'Ecosse se compose d'un noyau de granite et de gneiss recouvert sur plusieurs points par le terrain dévonien, qui peut s'y partager en trois groupes : 1° le *groupe inférieur*, montrant de bas en haut un conglomérat, des schistes bitumineux avec débris nombreux de *Pterichthys*, *Asterolepis*, etc., et des grès rouges et variés ; 2° le *groupe moyen*, formé d'un grès mince, fissile, gris, avec *Cephalaspis* ; 3° le *groupe supérieur*, comprenant des grès et des conglomérats rouges recouverts par des grès qui sont du même âge que celui du comté de Fife et qui ont fourni près d'Elgin, dans le sud du Morayshire, le *Telerpeton Elginense*. (Sir Lyell.)

Le système dévonien en France. — Le terrain dévonien forme une bande fort allongée depuis Doué jusqu'à Nort ; il montre encore plusieurs lambeaux sur le plateau méridional, dans les environs de Brest, dans le Cotentin et dans les départements de la Mayenne et de la Sarthe.

C'est du terrain dévonien que dépend la bande anthraxifère

qui borde la Loire entre Nantes et Angers; cette bande, qui a une épaisseur moyenne de 1000 à 1500 mètres, renferme vingt cinq couches d'anthracite dont huit seulement ont pu être exploitées avec avantage. Les roches associées à l'anthracite sont des schistes argileux, des grauwackes et des grès extrêmement durs. Les argiles contiennent fréquemment, en outre, du fer carbonaté en rognons. Presque au contact des couches de charbon, on trouve, au toit et au mur, une roche dite *pierre carrée* à cause de la forme que prennent ses fragments. Cette roche offre de l'analogie avec le pétrosilex, mais elle n'a pas une origine ignée, car elle s'étend avec régularité sur une grande longueur et renferme des empreintes végétales. Une seconde bande anthraxifère, en tout semblable à celle qui longe les bords de la Loire, traverse les départements de la Sarthe et de la Mayenne.

Le terrain dévonien existe aussi dans le Boulonnais (voir *posteà*, page 513), aux environs de Neffièz (Hérault), et le long des Pyrénées, où il est constitué par des schistes argileux, des schistes ardoisiers, des quarzites et des calcaires amygdalins (marbres de Campan) avec goniatites, clyménies, orthocères, entroques, etc.

Sur le plateau méridional de la Bretagne, la partie inférieure du terrain dévonien apparaît seule; elle est représentée par le calcaire et la grauwacke fossilifère d'Izé correspondant au calcaire de Néhou (Manche), si connu par ses nombreux fossiles. Ce dernier repose sur des grès verdâtres et est recouvert par des schistes à *Spirifer*.

Le système dévonien dans les autres contrées de l'Europe. — MM. Murchison et de Verneuil ont regardé comme étant dévoniennes des roches arénacées, grès ou poudingue, qui, en Suède,

paraissent correspondre au vieux grès rouge de l'Angleterre; cette appréciation est basée non sur la nature des fossiles puisque ces roches n'en ont pas fourni, mais simplement sur des analogies pétrographiques. Ces roches recouvrent les couches du système silurien supérieur; elles ont, aux environs de Christiania, une puissance de plus de 300 mètres.

En Russie, les couches dévoniennes s'étendent sur une région plus vaste que les Iles Britanniques. Lorsqu'elles se composent de grès, comme le vieux grès rouge de l'Ecosse et de l'Angleterre centrale, elles contiennent des poissons fossiles souvent identiques pour l'espèce, mais plus souvent encore pour le genre, avec ceux de l'Angleterre; au contraire, lorsqu'elles sont formées de calcaires, elles fournissent des coquilles semblables à celles du Devonshire. Cette circonstance remarquable confirme l'origine contemporaine d'abord assignée à ces formations qui montrent deux types minéralogiques très distincts en différents points de l'Angleterre. Les roches calcaires et arénacées de Russie alternent avec elles, de telle sorte qu'il ne saurait subsister aucun doute sur leur synchronisme. (Sir Lyell, d'après Murchison.)

Dans l'Eifel, on trouve très développé l'étage des schistes à calcéoles (*calceola schiefer*), dont les fossiles si bien conservés font l'ornement des collections. Le calcaire de Givet (*Eifelen kalk*) y est moins net parce qu'il a été en grande partie transformé en dolomie, mais il existe cependant. Les couches à *Terebratula cuboïdes* y sont représentées par les schistes de Büdesheim et par les calcaires qui les accompagnent. Les schistes de la Famenne ni aucun des étages plus élevés n'y ont pas encore été signalés. — Dans la Westphalie, des schistes de la Lenne sont les représentants exacts des schistes à calcéoles. Le calcaire de Paffrath est identique avec celui de Givet. Les diffé-

rentes couches réunies sous le nom de *schistes à cypridines* (*cypridinen schiefer*) sont l'équivalent du calcaire à *Terebratula cuboïdes*. Les schistes de la Famenne et les psammites du Condros ne paraissent pas s'y trouver. — Dans le Hartz, les équivalents des schistes à calcéoles et du calcaire à strigocéphales ont été constatés. On trouve à Grund tous les fossiles des couches à *T. cuboïdes* et des schistes de la Famenne. Je ne parle pas des analogies que l'on peut constater entre la grauwacke de l'Allemagne et celle de l'Ardenne, parce que l'ordre même de ces couches en Allemagne est encore un sujet de discussion entre les géologues les plus éminents (Gosselet) (1).

(1) On désigne sous le nom de monts Hercyniens un massif montagneux qui s'étend du nord de la France aux plaines de la Pologne, et dont les principaux membres sont l'Ardenne, le Hundsrück, le Taunus, le Thuringerwald, l'Erzgebirge et le Riesembirge. C'est moins une chaîne de montagnes qu'un plateau élevé, coupé de fentes étroites qui livrent passage à la Meuse, au Rhin, à l'Elbe, etc. Le sol des monts Hercyniens est en couches presque toujours inclinées, souvent même perpendiculaires. Les roches qui le composent appartiennent au terrain paléozoïque, tandis que celles qui se montrent tout autour du massif hercynien dépendent des terrains plus modernes. L'Ardenne est l'extrémité occidentale des monts Hercyniens. Elle s'étend sous forme d'une large bande un peu courbe du S.-O. au N., depuis les environs d'Hirson et de Mézières, jusqu'à ceux de Stolberg et de Gemünd (Prusse rhénane). Elle va en s'élevant dans cette même direction depuis Hirson, où elle n'a que 220 mètres, jusqu'aux hautes Fagnes, entre Malmédy et Spa, où elle atteint 689 mètres. Elle est surtout formée par les terrains silurien et dévonien inférieur et flanquée au N.-O. d'un escarpement calcaire (calcaire de Givet) qui s'élève comme un mur au dessus de la plaine voisine. Au N.-O. de l'Ardenne, se trouve le plateau ou bassin anthraxifère de la Belgique, formant un triangle dont le sommet est près de Liége et dont la base s'étend entre Tournay et Avesnes. Ce bassin, formé des terrains dévonien et carbonifère, disparaît à l'ouest sous le terrain secondaire. La Meuse le traverse, du nord au sud, dans une fente profonde. La partie qui est à l'est du fleuve porte le nom de Condros

Le terrain dévonien existe aussi en Espagne. D'après M. de Verneuil, on le trouve dans les Asturies et les provinces de Léon et de Palencia, où il se montre très riche en fossiles. Il est peu développé dans la Sierra Morena.

V. — SYSTÈME CARBONIFÈRE.

Synonymie. — Partie moyenne de la *période anthraxifère*, Cordier, et du *groupe carbonifère*, Labèche. — *Formation anthraxifère*, Omalius d'Halloy. — *Formation carbonifère*, Huot. — *Calcaire carbonifère*, Elie de Beaumont et la plupart des auteurs.

Historique. — Dans son traité de géologie, publié en 1832, Labèche réunissait, sous le nom de *groupe carbonifère*, trois terrains qui étaient de bas en haut le *vieux grès rouge*, le *calcaire carbonifère* et le *terrain houiller*. Les progrès de la science n'ont pas réellement modifié cette classification : le vieux grès rouge, étudié d'une manière plus complète, est

celle qui est à l'ouest peut prendre le nom général de Hainaut. Entre l'Ardenne d'une part, le Condros et le Hainaut de l'autre, s'étend comme un fossé une large vallée presque aussi stérile que l'Ardenne, c'est la Famenne, sur la droite de la Meuse, la Fagne, sur la gauche. Vers le nord du plateau anthraxifère, on trouve une bande schisteuse accompagnée de nombreuses couches de houille qui font la richesse de la Belgique ; elle est creusée depuis Charleroy jusqu'à Liége d'un profond sillon où coulent la Sambre et la Meuse. Plus au nord, se trouve le Brabant, contrée fertile formée de sables tertiaires. Dans quelques points, principalement au fond des vallées, on voit percer des roches analogues à celles de l'Ardenne ; ce sont, selon l'expression de M. d'Omalius d'Halloy, les sommités d'un ancien monde enfoui sous des dépôts plus nouveaux ; c'est le prolongement extrême et, pour ainsi dire, sous-marin des monts Hercyniens.

devenu le terrain dévonien; quant au calcaire carbonifère et au terrain houiller, ils sont restés à peu près ce qu'ils étaient d'abord, et c'est en vain que quelques géologues ont essayé d'établir leur synchronisme.

Distribution géographique; mers de la période carbonifère.— Ce que nous avons dit des changements qui se sont opérés dans le mode de répartition des mers, vers le commencement de la période dévonienne, peut se répéter à propos de la période carbonifère. Pendant cette dernière période, la terre ferme a continué de gagner en étendue. En même temps, tandis qu'elles désertaient certaines régions, les eaux océaniennes en envahissaient d'autres. Dans leurs déplacements successifs, elles ont tendu, en France, à se porter de l'ouest vers l'est et du nord vers le sud. Nous voyons, en effet, au commencement de la période carbonifère, la mer abandonner la presque totalité du massif breton et la partie orientale de la grande Bretagne pour envahir tout le nord est de la France et la région où s'élèvent actuellement les Vosges. La mer qui recouvrait le nord de la France se prolongeait en un petit golfe qui occupait sans doute à peu près le même emplacement que le bassin supérieur de la Loire et atteignait les environs de Roanne. Vers le nord est, elle recouvrait la majeure partie de l'Allemagne et allait peut-être se mettre en communication avec l'autre mer qui, en Russie, s'étendait d'Azof à Arkangel.

Les eaux océaniennes, qui occupaient les régions que nous venons d'indiquer, formaient la mer septentrionale de la période carbonifère. C'est surtout dans l'Europe méridionale que, pendant cette période, l'exhaussement du sol et le retrait de la mer se sont manifestés sur de vastes surfaces; le terrain carbonifère y est, en effet, peu développé. Ce terrain ne

s'observe guère que dans les environs de Neffièz (Hérault), où la mer carbonifère occupait sans doute à peu près le même emplacement que la mer de la période dévonienne, et dans les Asturies, entre Oviédo, Santander et Almanza; la mer des Asturies s'étendait probablement vers le nord et allait se confondre avec celle de l'Angleterre.

La mer carbonifère recouvrait aussi les régions où des couches d'origine marine alternent avec des bancs de houille ou sont placées au dessus d'eux. Il en est ainsi en Russie, dans le Valdaï et les provinces de Toula et de Kalouga; en Espagne, dans les Asturies; en Angleterre, dans le Northumberland, à Newcastle et dans le Yorkshire. Dans toutes ces localités, les bancs de houille présentent dans leur allure générale et dans leur épaisseur une régularité trop grande pour qu'on puisse admettre qu'ils ont été formés par voie de charriage. Probablement, ces localités se trouvaient près du rivage de la mer et, par conséqnent, à une faible profondeur. Les moindres oscillations de l'écorce terrestre suffisaient pour porter le sol au dessus ou au dessous du niveau des eaux. Lorsqu'il y avait affaissement, il se déposait, sur l'espace envahi par les eaux, des strates marines, ordinairement calcaires. Lorsqu'il y avait exhaussement, l'espace émergé se couvrait de deltas et de lagunes d'eau douce accompagnant le littoral; ces lagunes et ces deltas devenaient le siége de la formation du combustible. (Voir page 511.)

Pétrographie. — Les roches dont se compose le système carbonifère sont des schistes, tantôt siliceux, tantôt argileux, rarement ardoisiers, des grès, des psammites et des grauwackes. Mais la roche prédominante est le calcaire qui abonde surtout dans la partie moyenne de tout le sytème. Les calcaires du

terrain carbonifère sont gris bleuâtres ou noirâtres, souvent veinés de parties blanches spathiques; ils exhalent sous le choc du marteau ou par le frottement une odeur fétide due aux substances dont ils sont imprégnés. Leur texture plus ou moins compacte et les accidents de coloration qu'ils présentent les font fréquemment employer comme marbre. C'est au terrain carbonifère qu'appartiennent les marbres de Flandres et de Belgique connus sous le nom de marbre des Ecaussines ou *petit granite,* ainsi que le marbre de Namur et de Dinan, exploité sous le nom de marbre de Sainte Anne; le petit granite est d'un gris noirâtre avec des taches grises dues à des fragments d'entroques et de polypiers. Le terrain carbonifère renferme quelquefois des couches de houille dont la présence dans cette formation ne doit pas nous étonner, puisque les sigillaires et les autres végétaux à racine stigmariée faisaient partie de la flore de la période carbonifère.

Faune; flore. — La faune de la période carbonifère est caractérisée, comme celles des périodes antérieures, par l'absence des mammifères et des oiseaux; dans l'état actuel de nos connaissances, elle ne possède pas non plus de reptiles, car les strates citées comme ayant fourni les débris d'*Apateon* et d'*Archegosaurus* appartiennent au terrain houiller proprement dit et non au terrain carbonifère.

Les poissons sont abondants; ils rappellent en partie la faune dévonienne. On n'y retrouve plus cependant quelques unes des formes étranges et bizarres de cette faune; l'ordre des ganoïdes cuirassés a presque disparu. Le nombre des placoïdes en revanche a augmenté et l'on voit apparaître parmi les ganoïdes rhombifères quelques genres de formes pour ainsi dire plus normales, comme les *Palæoniscus* et plusieurs groupes voi-

sins. Les crustacés se modifient beaucoup; la variété augmente dans les familles de cette classe autres que les trilobites. Ceux-ci deviennent rares et apparaissent pour la dernière fois; ils ne sont plus représentés que par les deux genres *Phillipsia* et *Triarthrus*, ce dernier spécial à la faune carbonifère. Les mollusques, les échinodermes et les polypiers rappellent encore par leurs traits principaux les faunes précédentes; un très grand nombre de genres se montrent pour la dernière fois. Parmi les mollusques, les genres *Eomphalus, Goniatites, Productus,* prennent un développement considérable. Les échinodermes continuent à être surtout représentés par le type des crinoïdes. Les foraminifères apparaissent pour la première fois; ils montrent le genre *Fusilina* dont les individus remplissent des bancs entiers en Russie. (Pictet.)

Dans le recensement de M. Gœppert, la flore carbonifère comprend une espèce d'algue et 91 espèces de plantes terrestres; parmi celles-ci, il en est 7 qui passent dans le terrain houiller; le *Neuropteris Loshii* persiste depuis le calcaire carbonifère jusqu'au terrain permien inclusivement; parmi les espèces spéciales à toute la période carbonifère se trouvent: *Calamites transitionis*, *C. Roemeri* et *Sagenia Veltheimiana* (*Knorria imbricata*).

Division du système carbonifère en étages. — Le système carbonifère, considéré d'une manière générale, peut se diviser en trois étages: 1° les *schistes carbonifères inférieurs;* 2° le *calcaire de montagne* ou *calcaire carbonifère* proprement dit qui forme la partie essentielle de tout le sytème; 3° le *mill stone grit*, que je décrirai à part.

Le système carbonifère en Angleterre, en France; etc. — Le pre-

mier étage est surtout développé en Irlande. Dans cette île, on trouve, à la base du calcaire de montagne, un ensemble d'argiles schisteuses et de schistes qui présente une épaisseur de plus de 300 mètres. Au dessous de ces schistes vient le grès jaune (*yellow sandstone*) de Mayo, que l'on considère aussi comme carbonifère en raison de ses fossiles marins, bien qu'il passe au dévonien sous jacent. Un grès semblable, mais de puissance moindre, occupe une position identique dans le Gloucestershire et dans la Galles du sud. (Sir Lyell.)

Dans le sud ouest de la Grande Bretagne, dans le Somersetshire et la Galles du sud, par exemple, le calcaire de montagne (*Mountain Limestone*), ainsi nommé parce qu'il forme des montagnes assez élevées, est d'origine exclusivement marine; il renferme beaucoup de coraux, de coquilles et d'encrines; il en est quelquefois pétri. Il supporte, comme en Irlande, le *mill stone grit*. Il est aussi désigné par les géologues anglais sous le nom de *calcaire métallifère* (*metalliferous limestone*), parce qu'il renferme de nombreux filons dans le Derbyshire et le Cumberland.

En Belgique, le calcaire carbonifère (terrain condrusien de Dumont) comprend deux groupes: un *groupe inférieur* ou *calcaire de Tournay* et un *groupe supérieur* ou *calcaire de Visé*. Le groupe inférieur, que l'on peut, sous toutes réserves, placer sur le même niveau que le grès de Mayo, est moins épais que le groupe supérieur et occupe moins d'étendue que lui; mais son importance industrielle est plus considérable: c'est lui qui fournit la pierre à chaux de Tournay, le marbre des Ecaussines, la pierre bleue de Marbaix, etc. Parmi les principaux fossiles, nous citerons, dans le calcaire de Tournay: *Productus Flemingii, Spirifer Mosquensis, Terebratula*

Roysii, *Orthis Michelini*, *Leptœna depressa*, *Eomphalus helicoïdes*, *Cyathophyllum mitratum*, etc.; — dans le calcaire de Visé, *Productus giganteus*, *P. semireticulatus*, *P. striatus*, *Spirifer glaber*, *Terebratula sacculus*, *Orthis resupinata*, *Leptœna depressa*, *Eomphalus Dyonisii*, etc. Les deux groupes sont séparés par une assise dolomitique, dont Dumont faisait un étage distinct. Parmi les accidents pétrographiques du calcaire carbonifère de la Belgique, il faut signaler la présence de la silice formant quelquefois de petits nodules de phtanite, qui rappellent les cherts qui existent dans le calcaire de montagne du Devonshire et qui, comme ceux-ci, se montrent, près de Dinant, pétris d'entroques.

Le terrain carbonifère, qui manque dans l'Eifel, est représenté, dans tout le nord de l'Allemagne, par un ensemble de couches schisteuses et siliceuses que caractérise la *Posidonomya Becheri*. Au dessous des schistes à posidonomies se trouvent la grauwacke de Culm, et plus bas le terrain carbonifère (*kohlenkalk*); au dessus, la jeune grauwacke des Allemands (*jungere grauwacke*), avec plantes carbonifères.

En 1837, M. Hogard considérait le terrain dit de transition des Vosges comme faisant partie des systèmes cumbrien et silurien inférieur. En 1841, M. Elie de Beaumont le rattachait au système dévonien, et, en 1847, M. Fournet, le rajeunissant encore davantage, émettait l'opinion que ce terrain dépend du système carbonifère. Cette manière de voir, adoptée par M. Kœchlin Schlumberger, a été mise hors de doute depuis que M. Schimper a démontré que les plantes du terrain de transition des Vosges appartiennent incontestablement à la flore carbonifère, et surtout depuis que M. Jourdan a rencontré aux environs de Plancher les Mines, des fossiles tels que *Productus Martini*, *P. giganteus*, *P. semireticulatus*, etc.,

plus quelques espèces appartenant aux genres *Amplexus*, *Leptæna*, *Orthis*, *Chonetes*, *Spirifer*, *Eomphalus*, *Phillipsia*, etc. Parmi les espèces de plantes décrites par M. Schimper, se trouvent : *Calamites transitionis*, *Knorria imbricata*, *Sagenaria Veltheimiana*, *Cyclopteris polymorpha*, *Sphenopteris Schimperiana*. Le terrain de transition des Vosges forme la plupart des hautes cimes de ces montagnes et notamment le ballon de Guebwiler : la surface qu'il occupe est découpée sur ses bords par le nouveau grès rouge qui le recouvre, et, dans son intérieur, par les massifs de granite et de syénite qui y sont intercalés. Il se compose de calcaires, de grès, de grauwackes, de schistes argileux et de schistes ardoisiers. L'allure variable et irrégulière de la stratification du terrain de transition des Vosges n'a pas encore permis de retrouver l'ordre dans lequel se succèdent ses diverses assises, ni d'apprécier sa puissance qui, dans tous les cas, n'est pas moindre de 1200 mètres.

Un terrain dit de transition se montre par lambeaux sur le versant occidental des montagnes qui séparent le bassin de la Saône de celui de la Loire. Il occupe une contrée qui, pendant la période trilobitique, paraît avoir eu la même histoire que les Vosges. Le terrain de transition des environs de Tarare, de Roanne, etc., qui d'abord avait été considéré par M. Grüner comme appartenant aux systèmes cumbrien et silurien, que d'autres géologues avaient cru plus tard dépendre du système dévonien, a été en dernier lieu reconnu par M. de Verneuil comme étant en totalité du terrain carbonifère. C'est aussi au système carbonifère que nous croyons devoir rattacher un lambeau de terrain schisteux des environs de Roanne qui, bien que ne renfermant pas de fossiles, avait d'abord été considéré par quelques géologues comme silurien ; ainsi disparaît

l'anomalie offerte par l'existence de ce lambeau de terrain loin des autres contrées où se montre la formation à laquelle on l'avait à tort primitivement rapporté.

Le terrain de transition de la Loire, comme celui des Vosges, se compose de conglomérats, de grès, de grauwackes, de schistes talqueux, de schistes argileux, de schistes ardoisiers, de calcaires et d'anthracite; mais, dans le bassin de la Loire, l'ordre de succession des assises est plus facile à reconnaître. On peut y distinguer deux étages, séparés sur quelques points par une discordance de stratification. L'étage *supérieur* paraît correspondre au *mill stone grit,* ainsi que nous le verrons tout à l'heure; c'est cet étage qui renferme les gisements d'anthracite; il a pour roche prédominante un grès éminemment feldspathique. L'étage *inférieur* se compose, de haut en bas, de schistes argilo-talqueux diversement colorés, de calcaire gris bleuâtre contenant des fossiles et de plusieurs variétés de grès argilo-quartzeux; ce dernier étage représente tout ce qui, dans le système carbonifère, se place au dessous du *mill stone grit*. Les calcaires des environs de Tarare et de Roanne (Régny, Thisy, etc.) sont bitumineux et contiennent principalement des évomphales, des productus, des spirifères et des encrines. En descendant la Loire, on retrouve le terrain carbonifère au dessous de Digoin; il est principalement constitué par un calcaire renfermant une grande quantité d'encrines, de coraux, et le *Cyathophyllum helianthoïdes;* ce calcaire forme une bande étroite, dont le flanc paraît dans la berge de la Loire, depuis Creux jusqu'au delà de Diou.

La mer carbonifère a laissé, comme témoignage de sa présence sur la partie orientale du massif breton, le calcaire de Régneville, dans le Cotentin, et celui de Sablé, dans le département de la Sarthe. Ces calcaires renferment des fossiles

appartenant tous à la faune carbonifère, tels que *Spirifer striatus*, *Productus giganteus*, *P. semireticulatus*, *Chonetes papillionacea*, *Orthis resupinata*, etc.

Enfin, le terrain carbonifère existe dans les Asturies et à Neffiès (Hérault), localité très intéressante parce que l'on y trouve, comme nous l'avons vu, des représentants des principaux termes de la série paléozoïque.

Mill stone grit; anthracite de la Loire. — Dans les Iles Britanniques, à la partie tout à fait supérieure du terrain carbonifère, il existe une assise, épaisse de 180 mètres environ, formée en majeure partie d'un grès analogue à celui qui domine dans le terrain houiller, mais à texture plus grossière; il passe quelquefois à un conglomérat; il est accompagné de schistes argileux dans lesquels on rencontre parfois des plantes houillères. Dans le nord de l'Angleterre, il est traversé par quelques bandes calcaires, avec des peignes, des huîtres et autres coquilles marines; il offre quelques minces lits de houille. Ce grès fournit des meules de moulin à toute l'Angleterre, circonstance qui a valu le nom de *mill stone grit* (pierre à moudre) à l'assise dont il fait partie.

Le *mill stone grit* est une formation presque spéciale à l'Angleterre. Ses représentants sur le continent sont peu nombreux, et ne lui ont été rattachés que d'une manière douteuse. Pourtant l'indépendance du *mill stone grit* comme étage me paraît d'autant plus admissible que ce terrain est limité par deux systèmes de montagnes : en bas, par le système des Ballons, en haut par celui du Forez. En Angleterre, il se montre quelquefois en discordance d'isolement avec le calcaire carbonifère. (Tome II, page 471.)

« Les dislocations du système du Forez ont affecté tous les

terrains qui entrent dans la composition des montagnes de cette contrée, y compris celui dans lequel sont exploitées les mines d'anthracite des environs de Roanne ; mais elles ne se sont pas étendues au terrain houiller qui existe près de là, à Saint Etienne, à Bert, au Creuzot, etc. Elles datent, par conséquent, d'une époque intermédiaire entre le terrain anthraxifère de la Loire et le terrain houiller. Le terrain anthraxifère de la Loire repose en stratification quelquefois concordante, mais plus souvent discordante, sur un terrain schisteux dans la partie supérieure duquel sont intercalées des assises calcaires ; M. de Verneuil, après avoir étudié aux environs de Roanne ces calcaires, les a tous reconnus pour des calcaires carbonifères comme ceux de Sablé. On doit renoncer, d'après cela, à voir dans le terrain anthraxifère de là Loire un équivalent du terrain anthraxifère de la Loire Inférieure qui est inférieur au calcaire de Sablé ; on ne saurait non plus le placer sur le même niveau que le calcaire carbonifère puisqu'il en est séparé par une discordance de stratification ; on ne peut pas davantage le mettre en parallèle avec le terrain houiller, dont la constitution si constante dans tout l'intérieur de la France est si différente de la sienne, et dont les couches n'ont pas été affectées par les dislocations du système du Forez. De là il paraît résulter que le terrain anthraxifère de la Loire représente le *mill stone grit* des géologues anglais, auquel les poudingues inférieurs des terrains houillers de Saint Etienne et d'Alais n'avaient été assimilés que d'une manière hypothétique.

» Le terrain anthraxifère de la Loire présente vers la base un conglomérat souvent très grossier ; ce conglomérat passe, par la disparition des fragments, à un grès feldspathique, dont la pâte peu différente de la sienne, est une masse terreuse très fine, le plus souvent d'une teinte foncée. Des noyaux angu-

leux de feldspath lamelleux font souvent de ce grès une sorte de mimophyre. Au milieu du grès on trouve des schistes feldspathiques avec empreintes végétales. Les couches d'anthracite qui y sont renfermées sont accompagnées au toit et au mur de schistes très fins. Quelques parties des grès se sont transformées en roches extrêmement dures, compactes et cristallines, où tout indice de stratification a disparu, mais où se manifeste une division en colonnes prismatiques qui leur donne l'apparence de porphyres verts. La nature et la forme de ces roches pétro-siliceuses rappellent complétement la *pierre carrée* du terrain anthraxifère de la Loire Inférieure et de Maine et Loire. Elles paraissent avoir subi de même un mouvement métamorphique, quoique aucune roche éruptive ne s'en soit approchée; un mouvement moléculaire opéré dans l'intérieur du sol sans élévation considérable de température. C'est seulement par leur composition qu'elles se rattachent aux porphyres granitoïdes qui semblent avoir fourni la plus grande partie de leurs éléments. » (Elie de Beaumont.)

On a considéré comme correspondant au *mill stone grit* les *schistes alunifères* qui, en Belgique, se placent entre le calcaire carbonifère et le terrain houiller; ces schistes forment notamment deux bandes parallèles que l'on peut suivre de Namur jusqu'à Liége; ce sont des schistes bitumineux remplis de sulfure de fer; ils forment une assise qui repose quelquefois sur un banc de psammite; ce banc atteint, sur certains points, une puissance de 30 mètres, mais il disparaît sur d'autres. Dans quelques localités, ces schistes sont accompagnés de masses arrondies de calcaire noir qui renferme, entre autres fossiles particuliers: *Productus carbonarius*, *Goniatites atratus*, *Goniatites diadema*; ce dernier se retrouve à la partie supérieure du calcaire carbonifère de Roanne. (Gosselet.)

terrains qui entrent dans la composition des montagnes de cette contrée, y compris celui dans lequel sont exploitées les mines d'anthracite des environs de Roanne; mais elles ne se sont pas étendues au terrain houiller qui existe près de là, à Saint Etienne, à Bert, au Creuzot, etc. Elles datent, par conséquent, d'une époque intermédiaire entre le terrain anthraxifère de la Loire et le terrain houiller. Le terrain anthraxifère de la Loire repose en stratification quelquefois concordante, mais plus souvent discordante, sur un terrain schisteux dans la partie supérieure duquel sont intercalées des assises calcaires; M. de Verneuil, après avoir étudié aux environs de Roanne ces calcaires, les a tous reconnus pour des calcaires carbonifères comme ceux de Sablé. On doit renoncer, d'après cela, à voir dans le terrain anthraxifère de la Loire un équivalent du terrain anthraxifère de la Loire Inférieure qui est inférieur au calcaire de Sablé; on ne saurait non plus le placer sur le même niveau que le calcaire carbonifère puisqu'il en est séparé par une discordance de stratification; on ne peut pas davantage le mettre en parallèle avec le terrain houiller, dont la constitution si constante dans tout l'intérieur de la France est si différente de la sienne, et dont les couches n'ont pas été affectées par les dislocations du système du Forez. De là il paraît résulter que le terrain anthraxifère de la Loire représente le *mill stone grit* des géologues anglais, auquel les poudingues inférieurs des terrains houillers de Saint Etienne et d'Alais n'avaient été assimilés que d'une manière hypothétique.

» Le terrain anthraxifère de la Loire présente vers la base un conglomérat souvent très grossier ; ce conglomérat passe, par la disparition des fragments, à un grès feldspathique, dont la pâte peu différente de la sienne, est une masse terreuse très fine, le plus souvent d'une teinte foncée. Des noyaux angu-

leux de feldspath lamelleux font souvent de ce grès une sorte de mimophyre. Au milieu du grès on trouve des schistes feldspathiques avec empreintes végétales. Les couches d'anthracite qui y sont renfermées sont accompagnées au toit et au mur de schistes très fins. Quelques parties des grès se sont transformées en roches extrêmement dures, compactes et cristallines, où tout indice de stratification a disparu, mais où se manifeste une division en colonnes prismatiques qui leur donne l'apparence de porphyres verts. La nature et la forme de ces roches pétro-siliceuses rappellent complétement la *pierre carrée* du terrain anthraxifère de la Loire Inférieure et de Maine et Loire. Elles paraissent avoir subi de même un mouvement métamorphique, quoique aucune roche éruptive ne s'en soit approchée; un mouvement moléculaire opéré dans l'intérieur du sol sans élévation considérable de température. C'est seulement par leur composition qu'elles se rattachent aux porphyres granitoïdes qui semblent avoir fourni la plus grande partie de leurs éléments. » (Elie de Beaumont.)

On a considéré comme correspondant au *mill stone grit* les *schistes alunifères* qui, en Belgique, se placent entre le calcaire carbonifère et le terrain houiller; ces schistes forment notamment deux bandes parallèles que l'on peut suivre de Namur jusqu'à Liége; ce sont des schistes bitumineux remplis de sulfure de fer; ils forment une assise qui repose quelquefois sur un banc de psammite; ce banc atteint, sur certains points, une puissance de 30 mètres, mais il disparaît sur d'autres. Dans quelques localités, ces schistes sont accompagnés de masses arrondies de calcaire noir qui renferme, entre autres fossiles particuliers: *Productus carbonarius*, *Goniatites atratus*, *Goniatites diadema*; ce dernier se retrouve à la partie supérieure du calcaire carbonifère de Roanne. (Gosselet.)

Terrain carbonifère du Yorkshire, du Boulonnais, des Asturies et de la Russie. — La période houillère, telle que nous la définirons tout à l'heure, est nettement caractérisée par un phénomène important, la formation de la houille, et par le faciès exclusivement terrestre ou lacustre de la faune, de la flore et des dépôts qui lui correspondent. Mais cet état de choses spécial à la période houillère ne s'est pas montré tout d'un coup; il est convenable d'indiquer comment il s'est établi peu à peu pendant les périodes antérieures et surtout pendant la période carbonifère.

Avec le terrain dévonien de la Suède apparaît la première sigillaire; dans celui de l'Irlande, on a trouvé des débris de lépidodendrons, ainsi que des coquilles dont la forme rappelle le genre *Anodonte* et qui ont probablement vécu dans l'eau douce. En Belgique, le calcaire carbonifère supérieur renferme, au nord de Namur, une petite couche d'anthracite avec fossiles d'eau douce. Dans les Asturies, le Yorkshire, le Boulonnais et la Russie, le terrain carbonifère nous montre des couches marines alternant avec des bancs de houille et, par conséquent, avec des strates reçues dans des eaux douces. L'apparition des deltas et des lagunes où ces bancs de combustible se formaient était la première conséquence de l'extension des masses continentales, extension qui devait avoir pour résultats définitifs le retrait des mers et l'accumulation des eaux douces dans les dépressions du sol.

A mesure que l'on s'éloigne du pays de Galles pour se rapprocher de l'Ecosse, on voit le calcaire carbonifère et le *mill stone grit* se pénétrer, tout en conservant leur faciès marin, de couches de houille accompagnées des mêmes schistes et des mêmes grès qui composent le terrain houiller proprement dit. Celui-ci persiste à se montrer au dessus du *mill stone grit* et

du calcaire carbonifère, ce qui démontre l'indépendance de ces trois formations.

Le bas Boulonnais forme un îlot de terrain jurassique qui s'élève au milieu de la plaine crayeuse de la Picardie. Le terrain jurassique, très épais vers le sud-ouest, s'amincit vers le nord-est. De ce côté on le voit reposer en stratification discordante sur les roches fortement inclinées du terrain primaire; celles-ci ne sont visibles que sur une faible étendue, car à peine se sont-elles dégagées complétement du terrain jurassique qu'elles sont recouvertes par l'escarpement de craie qui limite au nord-est cette petite région naturelle. Dans cette région, le système silurien paraît être représenté par des schistes qu'on a trouvés dans un puits creusé à Caffiers, et qui portaient des empreintes assez semblables à des graptolites. Le terrain dévonien montre, de bas en haut : des schistes rouges et des grès verts, le calcaire de Blacourt avec *Spirifer Bouchardi*, des schistes à polypiers, des dolomies caverneuses, le calcaire de Ferques et de Fiennes correspondant au calcaire de Rhisnes et riche en fossiles (*Spirifer Verneuili, Productus subaculeatus*, etc.), enfin, le grès jaune et rouge de Fiennes avec *Cucullea Hardingii*. — Le terrain carbonifère comprend des bancs très puissants d'un calcaire que ses fossiles conduisent à placer sur le même niveau que le calcaire de Visé; ces bancs sont divisés en deux groupes par une assise de grès, de schistes noirs et bitumineux et de houille exploitée surtout à Hardinghem. C'est dans le groupe supérieur que se trouvent les carrières de Lunel et de Napoléon, ainsi que celle du Haut Banc, où le calcaire se montre pétri de *Productus cora*, et renferme, en outre, *Chonetes papillionacea*, *Productus giganteus*, etc. Tous les géologues ont admis que le terrain houiller du Boulonnais appartient au système carbonifère comme les deux mas-

sifs calcaires entre lesquels il est intercalé, et qu'il est placé dans les mêmes conditions que celui de l'Angleterre. M. Gosselet (1), à qui nous empruntons les détails qui précèdent, pense que le combustible du Boulonnais appartient au terrain houiller proprement dit, et il attribue son intercalation dans le terrain carbonifère à un accident de stratification par suite duquel les couches reployées auraient formé un < couché. C'est une hypothèse que nos connaissances actuelles sur le mode de distribution des mers, pendant la période houillère, ne permettent pas d'admettre; on ne saurait comment s'expliquer l'isolement de ce lambeau de bassin houiller marin au milieu de l'ensemble des bassins houillers exclusivement lacustres qui, dans le même moment, étaient répartis sur le sol de l'Europe.

Le système carbonifère est très développé dans le centre et le nord de la Russie. Les couches inférieures sont des grès et des schistes bitumineux contenant de rares impressions des plantes bien connues du terrain houiller; elles sont surmontées de bandes calcaires. Le calcaire de montagne de la Russie semble avoir été déposé dans une mer peu profonde; il est ordinairement très riche en fossiles, parmi lesquels on retrouve les espèces les plus caractéristiques du calcaire de montagne de l'Europe occidentale. Les bancs inférieurs, contenant les *Productus antiquatus* et *hemisphericus*, si abondants en Ecosse, ressemblent au calcaire de montagne de l'Europe occidentale; les autres bancs affectent les caractères des roches les plus récentes.

(1) La majeure partie des faits qui ont été mentionnés dans les pages précédentes et qui ont trait aux terrains dévonien et carbonifère de la Belgique et du nord de la France, se trouvent dans le travail de M. Gosselet, professeur à la faculté des sciences de Lille, sur les terrains primaires de la Belgique et du Boulonnais.

Moscou, appelée par les Russes la ville blanche, est bâtie avec un calcaire blanc carbonifère qui forme une bande jusqu'à Arkangel et qui ressemble d'autant plus à la craie qu'il est entrecoupé comme elle par des bancs de silex ordinairement remplis de coraux et de productus. Le terrain carbonifère du Donetz, près des bords de la mer d'Azof, est l'équivalent du calcaire carbonifère du nord et du centre de la Russie ; mais au lieu de ne former, comme dans le nord, qu'une seule masse divisée par quelques lits d'argile, et reposant sur du sable avec un peu de houille de mauvaise qualité, — dans le Donetz, c'est un grand système de grès et de schiste avec houille auxquels de nombreuses couches de calcaires sont subordonnées. Le bassin du midi de la Russie est séparé de celui du centre par un grand axe dévonien qui divisait la mer carbonifère de Russie en deux parties. (De Verneuil et Murchison.)

SÉRIE PSAMMITIQUE.

La série psammitique s'étend des premières strates du terrain houiller proprement dit aux dernières strates du terrain vosgien. Elle correspond à la partie de la période paléozoïque pendant laquelle le sol de l'Europe, à la suite du mouvement ascensionnel auquel il avait été jusqu'alors soumis, s'est trouvé presque en totalité émergé, surtout dans les contrées autres que la Russie. La série psammitique comprend deux systèmes: le SYSTÈME HOUILLER et le SYSTÈME PERMIEN.

Distribution géographique. — L'exhaussement du sol qui avait persisté pendant toute la période trilobitique a eu pour conséquence l'émergement de presque toute l'Europe au commencement de la période psammitique; si la mer occupait une portion quelconque de ce continent, ce ne pouvait être qu'en Russie. Ce qui nous engage à émettre cette opinion, c'est que, comme on le verra par la suite, les eaux océaniennes semblent avoir obéi pendant les périodes permienne, triasique et jurassique, à une sorte de mouvement de bascule en vertu duquel, pendant qu'elles désertaient la partie occidentale de l'Europe, elles se portaient vers sa partie orientale et réciproquement. Le retour de la mer vers l'ouest de l'Europe a commencé à s'effectuer dès le commencement de la période permienne, mais il n'a été complet que vers la fin de la période triasique.

Faune; flore. — J'ai déjà énuméré les principaux caractères

de la faune et de la flore de la période psammitique (*antè*, page 309); je reviendrai tout à l'heure sur ce sujet en m'occupant des terrains houiller et permien; je me bornerai à émettre quelques considérations sur le milieu où vivaient les *Palæoniscus*, dont les restes sont si nombreux dans toutes les formations dont se compose la série psammitique. Leurs débris se rencontrent tout à la fois dans des strates qui tantôt renferment des fossiles marins et, par conséquent, se sont déposées au fond de l'océan, et tantôt accusent par leurs divers caractères une origine exclusivement lacustre. Il faut donc que les *Palæoniscus* et les *Amblipterus* aient vécu indifféremment dans les eaux douces et dans les eaux salées. Cette aptitude spéciale s'explique lorsqu'on se rappelle que les *Palæoniscus* appartiennent à l'ordre des ganoïdes comme les esturgeons qui vivent soit dans l'océan, soit dans les fleuves (1). Avec la faune carbonifère disparaissent les poissons ganoïdes (si répandus dans le terrain dévonien) que l'on désigne quelquefois sous le nom de poissons sauroïdes et que la forme et la grandeur de leurs dents ainsi que leur forte organisation avaient d'abord

(1) Les esturgeons habitent l'Océan, la Méditerranée, la, mer Rouge, la mer Noire, la mer Baltique et la mer Caspienne; mais ils ne passent pas leur vie tout entière au sein des mers. Au printemps, quand la chaleur vient réveiller en eux le sentiment de la propagation, les esturgeons remontent en bandes les grands fleuves, tels que le Volga, le Don, le Danube, l'Elbe, l'Oder, le Rhin, le Pô, la Garonne, la Loire, et c'est là que la femelle vient déposer ses œufs; quelquefois même ils remontent dans les affluents des fleuves. Pallas dit qu'ils sont si nombreux dans le Jaïck qu'ils ont une fois endommagé une digue et qu'on a été obligé d'employer le canon pour les disperser. Les lacs et les fleuves de l'Amérique septentrionale en nourrissent des légions si considérables que les Indiens les tuent à coups de flèches. Avant la fin de l'été, ils abandonnent les fleuves et redescendent vers la mer, où ils prennent leurs quartiers d'hiver. (*Dict. d'hist. nat.* de D'Orbigny.)

fait comparer à des reptiles. Les trilobites, dès le commencement de la période psammitique, avaient définitivement disparu de la scène de la vie.

Pétrographie. — Nous donnons à la série dont il est ici question le nom de *psammitique* à cause du rôle important rempli dans sa constitution pétrographique par les roches détritiques, conglomérats, grès et psammites (ψαμμος; sable); c'est à cette série qu'appartiennent le grès houiller, le nouveau grès rouge, le grès vosgien, une partie des arkoses de Bourgogne, etc. Nous attachons une grande importance au caractère fourni par les roches détritiques, car leur abondance est en relation avec le climat et la configuration du sol pendant la seconde partie de la période paléozoïque.

Les strates des terrains de la période psammitique sont redressées en éventail moins fréquemment que celles de la période trilobitique; quelquefois même elles ont plus ou moins bien conservé leur situation primitivement horizontale. Elles ne sont pas contournées en S, mais parfois plissées en zig-zag; elles se montrent fréquemment traversées par de nombreuses failles. Ces caractères stratigraphiques, dont j'ai essayé de donner une idée à droite de la figure 108, tome II, page 372, sont dus sans doute à la plus grande puissance qu'offrait l'écorce terrestre et qui ne permettait plus aux strates de se replier sur elles mêmes avec facilité. Les roches dont se compose en majeure partie le terrain psammitique possèdent d'ailleurs moins de souplesse que celles qui existent dans le terrain trilobitique ; elles ont dû, sous l'influence des actions dynamiques qui agissaient sur elles, se briser et se disloquer en fragments plutôt que de se plier de manière à présenter des lignes courbes dans leur stratification.

Les failles et les plissements en zig-zag qui se montrent dans le terrain psammitique s'observent principalement dans le terrain houiller. Cela tient sans doute à ce que le terrain houiller, s'étant déposé avant le terrain permien, a pu éprouver des dislocations qui ont épargné celui-ci ; peut être aussi ces dislocations ont-elles quelquefois affecté la partie inférieure du terrain psammitique sans arriver jusqu'à sa partie supérieure ; peut être, enfin, ces failles et ces plissements paraissent-ils plus nombreux dans le terrain houiller parce que les exploitations dont la houille est l'objet ont permis de les étudier avec soin.

VI. — SYSTÈME HOUILLER.

Synonymie. — Partie supérieure de la *période anthraxifère*, Cordier, de la *période carbonifère*, Labèche. — *Terrain houiller*, Omalius d'Halloy et la plupart des auteurs. — *Formation houillère* ou partie supérieure du *terrain carbonifère*, Huot. — *Etage carboniférien*, en partie, A. d'Orbigny.

Le terrain houiller constitue un étage indépendant. — Jusqu'à ces derniers temps, des idées erronées ont eu cours dans la science soit sur les circonstances qui avaient présidé au dépôt du terrain houiller, soit sur le rôle que ce terrain joue dans la série géologique. Ces idées ont trouvé des adeptes parce qu'elles ont été formulées, quoique souvent dans des termes contradictoires, par des géologues du plus grand mérite. Pourtant, dès le commencement de ce siècle, quelques savants avaient des notions assez exactes sur l'origine du terrain houiller et sur ses relations avec le calcaire carbonifère. En 1811, l'ingénieur des mines Bouesnel, en s'occupant de la formation anthraxifère de la Belgique, faisait remarquer que, tandis que le calcaire

alterne avec des bandes de schiste et de poudingue sans houille, le terrain schisteux à houille ne se trouve qu'au milieu du calcaire dont il est enveloppé de toutes parts; sa configuration semble plutôt celle d'un bassin rempli que celle d'un système alternant avec les premiers. Il en concluait que le calcaire et le terrain schisteux non houiller sont contemporains, tandis que le terrain à houille leur est postérieur. Il invoquait à l'appui de son opinion cette circonstance que les deux premières roches renferment des coquilles, tandis que la troisième ne contient que des empreintes végétales inconnues dans les autres. Il faisait observer, en outre, que les filons métallifères, très nombreux dans le calcaire, se poursuivent sans interruption dans le terrain schisteux non houiller, et ne pénètrent jamais dans le terrain houiller proprement dit.

Les conditions stratigraphiques, pétrographiques et paléontologiques dans lesquelles se présente le terrain houiller démontrent jusqu'à l'évidence que ce terrain s'est formé hors de la mer et dans des lacs ou des dépressions marécageuses. Les massifs de houille en exploitation ne sont pas des lambeaux d'un vaste dépôt jadis continu qui, après avoir été reçu dans un même océan, aurait été plus tard disloqué par les forces intérieures et en partie détruit par les agents de dénudation. Chacun d'eux correspond à un bassin distinct où la houille s'est accumulée. Le combustible appartenant au terrain houiller ne s'est pas formé à la suite d'un charriage de débris de végétaux dans des eaux douces ou salées; il s'est constitué sur place comme la tourbe de nos jours. Dans l'état actuel de nos connaissances, il est même impossible de dire où se trouvaient les mers de la période houillère. Enfin, le terrain houiller n'est pas le terme correspondant du calcaire carbonifère, le faciès lacustre d'une formation dont ce calcaire serait le faciès

marin. Le calcaire carbonifère et le terrain houiller proprement dit doivent être considérés comme deux formations indépendantes autant que peuvent l'être deux terrains quelconques; non seulement nous ne les réunissons pas dans un même étage comme l'a fait Alc. d'Orbigny, mais nous les plaçons dans deux séries différentes. Lorsque le calcaire carbonifère et le terrain houiller existent simultanément dans une contrée quelconque, ils sont superposés; en Angleterre, on les voit même séparés l'un de l'autre par une formation intermédiaire, le *mill stone grit*. L'intervalle de temps qui s'est écoulé entre leur dépôt a même été assez long pour que deux systèmes de soulèvement, celui des Pays Bas et celui du Forez, aient pu surgir. Presque toujours, les deux terrains dont il est ici question se montrent en stratification concordante, lorsqu'ils sont superposés, mais on peut aussi constater entre eux une discordance d'isolement puisque, sur un grand nombre de points, chacun d'eux existe isolément. Quant aux motifs qui me portent à les rattacher à deux séries distinctes, je ferai observer qu'ils n'ont ni la même flore, ni la même faune, ni la même constitution pétrographique; le climat, la configuration du sol et les phénomènes géologiques étaient loin de se ressembler pendant les périodes carbonifère et houillère.

Considérations générales; le terrain houiller est, en quelque sorte, un alluvium. — C'est, avons nous dit, pendant la période houillère que le mouvement ascensionnel qui avait persisté pendant les périodes antérieures a atteint sa dernière limite. La France et presque toute l'Europe formaient alors un continent très vaste, mais peu élevé au dessus du niveau de la mer. L'océan, repoussé loin de ses anciens rivages, avait déserté l'Europe. Ce vaste continent était recouvert de lacs et de dépressions

marécageuses où croissaient de vastes et épaisses forêts de sigillaires et de végétaux à racine stigmariée; les débris de ces forêts, entassés sur place, étaient destinés à se transformer en houille, tandis que les dépressions qu'occupaient ces forêts devaient devenir nos bassins houillers.

Il y a une grande analogie entre les périodes houillère et diluvienne. Pendant la période houillère, les masses continentales offraient, comme de nos jours, une vaste étendue, et, sur ces masses continentales, se montraient, comme maintenant dans le centre et le nord de l'Europe, des lacs et des plaines couvertes de marais. Le climat, comparé à celui des périodes carbonifère et triasique, devait être assez froid, puisque, si la température avait été très élevée comme on l'admettait d'abord, la houille n'aurait pu se former. A chacune des deux périodes que nous comparons correspond un combustible spécial, et, pour ainsi dire, caractéristique. Enfin, le terrain houiller, comme le terrain diluvien, est presque exclusivement formé de roches de transport, produites sous l'influence de courants énergiques. On peut dire que le terrain houiller est un diluvium. La principale différence entre les périodes houillère et diluvienne provient de ce que, pendant l'époque où la houille se formait, l'atmosphère n'était pas assez refroidie et les massifs montagneux assez élevés, pour que les neiges perpétuelles et les glaciers pussent apparaître; tout au plus pourrait-on admettre que les hautes montagnes se couvraient, pendant les hivers froids, de neige dont la fonte subite contribuait à accroître l'importance des courants et, par suite, à rendre plus considérable la masse des matériaux détritiques charriés après chaque crue des rivières.

« Les poudingues, qui existent presque toujours à leur partie inférieure, montrent, jusqu'à l'évidence, que les terrains

houillers ont commencé par une espèce de diluvium, fait aux dépens des roches environnantes (1). Souvent ces poudingues sont formés de la réunion de blocs gigantesques assez peu roulés, qui n'ont pu être transportés de très loin (2). Ces poudingues à grandes parties sont, en général, formés de débris de roches anciennes qui entrent dans la constitution géologique de la contrée où on les observe, circonstances qui indiquent que les terrains houillers sont le résultat de causes locales. La plupart des terrains houillers de l'Angleterre, ceux de la Belgique et de Valenciennes, présentent une différence très importante à signaler dans la nature des poudingues qui constituent la partie inférieure. Ces poudingues, rarement composés de galets de plus d'un décimètre de diamètre, sont presque uniquement siliceux. Les roches du pays n'y sont que faiblement représentées. Cette différence si remarquable dans la nature des galets, qui prouve que les terrains houillers à poudingue quartzeux n'ont pas été formés, comme ceux à poudingue granitique ou schisteux, par des causes essentiellement locales, se lie presque toujours à la présence de couches plus ou moins

(1) Ainsi, dans l'Aveyron, le poudingue est exclusivement granitique ; au nord de Saint Etienne et près de Rive de Gier, il est composé principalement de fragments de gneiss, de schiste micacé et de schiste talqueux. On y trouve bien quelques fragments granitiques, mais ils y sont rares. Dans le bassin houiller de Ségure, les fragments, presque tous schisteux, sont en outre anguleux. (Elie de Beaumont.)

(2) Les terrains houillers de l'Aveyron, de Saint Etienne et d'Epinac, offrent de beaux exemples de ces poudingues à grandes parties, et les blocs de roches anciennes, qui y sont à l'état de galets, ont fréquemment un volume de plusieurs mètres cubes. A Epinac, ce poudingue est à fragments tellement considérables, qu'un puits a été percé sur une longueur de plusieurs mètres dans l'épaisseur d'un seul galet. Le bassin houiller de Ségure, dans les Pyrénées Orientales, offre des circonstances analogues. (Elie de Beaumont.)

puissantes de calcaire marin, intercalées dans leur partie inférieure. » (Elie de Beaumont.)

D'après les considérations précédentes, M. Elie de Beaumont est conduit « à diviser les terrains houillers en deux classes, lesquelles ont été déposées à la même époque, mais dans des conditions essentiellement différentes; les uns, existant dans des bassins circonscrits, sont comparables à des lacs comblés; les autres, qui appartiennent à un phénomène beaucoup plus général, ont été déposés dans de grandes mers. » Si le lecteur a bien saisi les idées que nous avons émises sur les diverses circonstances qui ont présidé à la formation de la houille, il comprendra que nous n'admettions pas complétement l'opinion formulée par M. Elie de Beaumont.

On peut, parmi les bassins houillers, distinguer : 1° les bassins qui correspondent aux dépressions qui se sont formées sur les massifs déjà émergés pendant la période carbonifère; ces bassins, qui existent principalement dans le centre de la France, et que l'on a quelquefois appelés « bassins houillers lacustres, » sont les moins étendus; leurs parois sont composées de roches schisteuses ou siliceuses appartenant non au terrain carbonifère, mais à des formations plus anciennes. 2° Les bassins qui ont directement succédé aux mers carbonifères dans le moment même de leur disparition, et ont, pour ainsi dire, pris leur place. Ceux-ci, que l'on a quelquefois réunis sous la désignation impropre de « bassins houillers marins, » existent surtout en Belgique et en Angleterre; ce sont les plus étendus; leurs parois sont, en majeure partie, constituées par le terrain carbonifère, qui leur sert également de substratum. Les dimensions plus grandes des bassins houillers de la Belgique et de l'Angleterre, ainsi que la nature minéralogique de leurs parois, expliquent l'absence chez eux d'un infrastratum de

poudingues à gros éléments granitiques et schisteux. Les débris de roches qui, par leur accumulation devaient constituer cet infrastratum, ayant un plus long trajet à parcourir, subissaient une destruction complète lorsqu'ils étaient de nature calcaire et diminuaient rapidement de volume lorsqu'ils étaient de nature siliceuse (tome I, page 357). Dans ces grands bassins houillers, les poudingues à gros éléments n'ont pu s'accumuler que près des bords, mais on conçoit que les agents d'érosion les aient détruits depuis longtemps.

Une chose sur laquelle nous ne saurions trop insister, c'est que, dans l'état actuel de la science, nous ne connaissons le terrain houiller que sous son faciès lacustre ou terrestre. L'océan, lors de la période houillère, était certainement quelque part et devait recevoir des sédiments qui constitueraient pour nous, s'ils nous étaient connus, le faciès marin du terrain houiller; mais les strates marines faisant partie de ce terrain se trouvent cachées soit au fond des mers actuelles, soit dans les contrées inexplorées du centre de l'Afrique et de l'Asie. En formulant cette opinion, je ferai une réserve pour le centre et le nord de la Russie; il ne serait pas impossible que, dans ce pays, la partie supérieure du terrain carbonifère, dont les caractères contrastent avec ceux de sa partie supérieure, appartînt au terrain houiller proprement dit.

Pétrographie. — Contrairement à ce que nous avons constaté pour le terrain carbonifère, les roches calcaires manquent presque complétement dans le terrain houiller.

L'absence presque constante des calcaires ainsi que la rareté des filons dans ce terrain indiquent que l'action geysérienne, qui devait se manifester de nouveau avec tant d'énergie pendant la période permienne, a subi, pendant la période

houillère, un ralentissement, sinon une suspension complète.

Le terrain houiller est principalement composé de roches dont l'origine détritique s'explique aisément lorsqu'on se rappelle quels étaient le climat et la configuration du sol pendant la période houillère; ces roches sont des conglomérats polygéniques, des grès quartzeux et des schistes.

Les poudingues et les conglomérats polygéniques se montrent principalement à la base du terrain houiller; toutefois, on en voit quelques couches alterner avec le grès houiller, mais alors ils sont composés de galets d'un petit volume. Le grès est la roche la plus abondante dans ce terrain; il est formé de grains quartzeux avec feldspath en partie décomposé; il passe quelquefois à l'arkose, au psammite, au poudingue; il peut être schisteux et micacé. Les schistes, presque toujours noirâtres, souvent micacés, présentent fréquemment entre leurs feuillets des empreintes de fougères; ils résultent de la transformation des masses argileuses qui, pendant qu'elles étaient encore molles, ont subi un mouvement de laminage et ont acquis la structure feuilletée.

La houille, si abondamment répandue dans le terrain houiller, en est certainement la roche caractéristique et l'expression de terrain houiller, ainsi que je l'ai déjà dit, mérite d'être conservée. Le phénomène de la formation de la houille a été en connexion avec un ensemble de circonstances qui ne s'est présenté qu'une seule fois (*antè*, page 190). Non seulement les matières charbonneuses se sont accumulées sur certains points pour donner origine à des amas de combustibles, mais elles ont encore pénétré toutes les roches dont se compose le terrain houiller et leur ont imprimé un aspect particulier et une nuance noirâtre ou grisâtre qui contribuent à les faire facilement reconnaître.

Les matières végétales qui ont déterminé la production de la houille et les débris d'animaux dont elles étaient mélangées ont subi, dans quelques cas, une transformation particulière en donnant naissance à des substances bitumineuses; il s'est en même temps produit une sorte de distillation sans intervention d'une température élevée; à la suite de cette distillation lente, le bitume est allé imprégner les roches voisines. C'est ainsi, sans doute, que se sont constituées les roches bitumineuses du terrain houiller, et, notamment, les schistes d'Autun, dont on extrait une huile pour l'éclairage.

Parmi les roches spéciales au terrain houiller, on peut encore mentionner le fer carbonaté sédimentaire ou lithoïde, parce que ce n'est que dans ce terrain qu'il se rencontre avec quelque abondance. (Voir *antè*, pages 131 et 132.)

Faune; flore. — Le système houiller, tel qu'il nous est donné de l'étudier en Europe et dans l'Amérique du nord, ne comprend que des formations terrestres ou lacustres; le caractère le plus saillant de sa faune est donc l'absence d'êtres organisés complétement marins. Les débris d'animaux rencontrés dans les strates du système houiller appartiennent à trois classes: celle des reptiles (*antè*, page 289), celle des poissons, et celle des insectes (*antè*, page 289). Les poissons appartiennent presque exclusivement au type des *Palæoniscus*.

Quant à la flore de cette période, je l'ai décrite avec assez de détails pour ne pas avoir à m'en occuper une autre fois. (Voir *antè*, page 176.) Les espèces fossiles les plus répandues dans le terrain houiller sont : parmi les fougères, *Pecopteris aquilina, P. gigantea, Sphenopteris elegans, S. latifolia, Odontopteris Brardii, O. minor, O. Schloteimii, Nevropteris heterophylla, N. elegans, N. heterophylla, Cyclopteris tri-*

chomanoïdes; parmi les lycopodiacées, *Sigillaria lævigata*, *Stigmaria ficoïdes*, *Lepidodendron Sternbergii*, *L. elegans;* parmi les équisétacées, *Annularia brevifolia*, *A. longifolia*, *Calamites Suckovii*, *Calamites cannæformis*.

Énumération des principaux bassins houillers en Europe. — Après avoir indiqué sommairement quelle est la distribution géographique des bassins houillers à la surface du globe (*antè*, page 193), il me reste à mentionner les principaux de ceux d'entre eux que l'Europe possède.

L'Angleterre exploite une vingtaine de bassins houillers qui se divisent en trois groupes : 1° les bassins du nord de l'île ou de l'Ecosse ; 2° les bassins du centre ; le plus important d'entre eux est celui de Newcastle ; 3° le bassin du pays de Galles, le plus riche de l'Angleterre.

La Belgique est traversée par une zone de terrain houiller qui se prolonge depuis les environs d'Eschweiler (pays de Juliers), jusqu'aux environs de Lens (Pas de Calais). Cette zone se présente sous la forme d'un croissant dont la largeur ne dépasse pas 12 kilomètres et dont la longueur est de près de 250 kilomètres. Sur toute l'étendue de cette zone, le terrain houiller s'est déposé dans un bassin dont le calcaire carbonifère constitue les parois. Entre Namur et Huy, les bassins se rapprochent et le terrain houiller disparait, ce qui a conduit à partager la zone houillère de Belgique en deux parties : le bassin de Liége et le bassin de Mons.

Parmi les nombreuses failles qui ont plissé et disloqué le terrain houiller en Belgique et dans le nord de la France, il en est une qui, bien plus importante que les autres, se prolonge depuis Liége jusqu'au delà de Valenciennes. Elle partage la zone houillère en deux bassins secondaires : le bassin

septentrional, plus étroit, mais renfermant presque toute la houille exploitée sur toute l'étendue de cette zone; le bassin méridional, plus large, mais moins riche en combustible, parce que les agents d'érosion ont, dans cette contrée, fortement nivelé le sol, et fait disparaître la majeure partie du terrain houiller. En Belgique, le terrain houiller se montre à découvert, mais, lorsqu'il pénètre en France, il disparaît sous la masse puissante des *morts terrains*, c'est à dire sous les formations crétacée et tertiaire. Au delà de Douai, la nappe formée par les *morts terrains* offre une épaisseur telle que des sondages n'ont pu être établis pour atteindre la houille; aussi ignore-t-on jusqu'où, pendant son trajet souterrain, se prolonge vers l'ouest la zone houillère de Belgique.

Les bassins de Rolduc et d'Eschweiler, sur la rive gauche du Rhin, sont la continuation de la zone belge; le bassin de la Ruhr, sur la rive droite, peut aussi être considéré comme étant le prolongement de cette zone qui, après avoir disparu sous les dépôts modernes de la vallée du Rhin, reparaîtrait au dessus de ces dépôts par l'effet de l'exhaussement du terrain de transition. Les bassins houillers de la Saxe, situés sur le versant nord de l'Erzgebirge, et ceux de la Silésie prussienne continuent et terminent, vers l'est de l'Europe, cette série sporadique de bassins houillers, qui semblent devenir de plus en plus rares à mesure que l'on s'avance dans cette direction. En dehors des houillères de la Bohême, l'Autriche ne possède que des gîtes de peu d'importance.

Lorsqu'on étudie la manière dont les bassins houillers se distribuent en France, on voit qu'ils se coordonnent par rapport aux massifs montagneux; mais, évidemment, ce mode de distribution n'est qu'apparent, et, s'il nous était donné d'apercevoir les bassins houillers cachés sous les dépôts postérieurs

à la houille, nous verrions, au contraire, que ces bassins sont, dans les dépressions limitées par les massifs montagneux, plus nombreux et plus étendus que dans ces massifs eux mêmes. Les bassins houillers, qui se dérobent ainsi à notre observation, constituent, pour ainsi dire, une importante réserve où l'on ira chercher le combustible lorsque les gisements actuellement exploités seront épuisés.

Le terrain houiller ne forme dans les Vosges que des dépôts très peu puissants, qui paraissent avoir rempli les parties les plus creuses de deux bassins: l'un, situé au midi des Ballons, comprenant les affleurements de Ronchamp; l'autre, placé vis à vis Schlestadt et comprenant les affleurements de Villé. Au nord des Vosges et au pied de la chaîne du Hundsruck se développe un vaste bassin houiller dont la largeur est de 4 à 7 lieues et dont la longueur est de 25 lieues; vers le sud-ouest, ce bassin disparaît au dessous du terrain triasique et se prolonge jusqu'à une distance indéterminée. Les bassins houillers en connexion avec le massif breton sont au nombre de six: ce sont ceux de Plessis et de Littry, dans le Calvados, de Saint Pierre la Cour (Mayenne), de Quimper (Finistère), de Chantonay et de Vouvant, dans la Vendée; tous, à l'exception de ces deux derniers, offrent à peine quelques kilomètres de longueur. — Des lambeaux de terrain houiller existent, à Ségure, près Tuchan, et à Durban, dans le département de l'Aude, ainsi que dans les montagnes des Maures et de l'Estérel.

Un grand nombre de bassins houillers sont parsemés sur le plateau central; je me bornerai à mentionner les principaux d'entre eux. Le terrain houiller semble former autour du Morvan une zone continue, à laquelle appartiennent les affleurements d'Autun et d'Epinac, de Sincey, de Decize et le vaste bassin de Saône et Loire. Dans celui-ci, la partie décou-

verte du terrain houiller constitue deux lignes d'affleurement parallèles qui paraissent former les deux lisières longitudinales du bassin, dont la partie centrale a été recouverte par le trias. Les pendages dominants de ces affleurements tendent l'un vers l'autre et conduisent naturellement à l'hypothèse d'un raccordement souterrain. Le gîte de Blanzy appartient à la zone méridionale et celui du Creuzot à la zone septentrionale. Le bassin de Saône et Loire ne doit pas se prolonger beaucoup vers le nord-est, si l'on en juge par l'état d'appauvrissement où se trouve le combustible de ce côté, dans les environs de Charecey; vers le sud-ouest, ce bassin semble, après un trajet souterrain sous la vallée de la Loire, se terminer par l'affleurement de Bert; s'il en est ainsi, le bassin de Saône et Loire aurait une longueur de plus de 80 kilomètres. — Le bassin houiller de la Loire est le plus important de la France par son étendue, l'excellénce du charbon qu'il produit et le dévoloppement qu'y a pris l'exploitation; il s'étend du nord-est au sud-ouest sur une longueur de plus de 42 kilomètres. Il est divisé en deux parties (le bassin de Saint Etienne et le bassin de Rive de Gier) par la ligne de partage entre les eaux de la Loire et celles du Rhône. Le terrain houiller du bassin de Rive de Gier reparaît de l'autre côté du Rhône, à Ternay et à Communay; on le voit encore affleurer un peu plus loin, au milieu du terrain bressan, à Champagnieu (Isère). — Les bassins houillers les plus importants situés sur le versant sud du plateau central sont ceux d'Alais, de Graissesac et de Decazeville.

En Espagne, des bassins houillers existent à San Juan de las Abadesas (Catalogne), dans les Asturies, les provinces de Léon et de Palencia et dans la Sierra Morena.

La Scandinavie, l'Italie, la Grèce et la Turquie d'Europe paraissent être complétement dépourvues de terrain houiller.

Constitution géognostique et stratigraphique du terrain houiller. — Le terrain houiller peut avoir pour substratum, suivant les localités, les diverses formations qui le précèdent dans l'échelle géologique. Dans les Alpes et la France centrale, il repose sur le granite ou les schistes azoïques, tandis qu'en Belgique il est supporté par le calcaire carbonifère.

Au dessus des poudingues et des conglomérats qui forment l'infrastratum de chaque bassin, viennent les alternances de houille, de schiste et de grès dont le terrain houiller se compose presque exclusivement. Les couches de houille sont indifféremment intercalées dans les assises de grès et d'argile schistoïde ; dans le premier cas, elles sont presque toujours séparées du grès par de minces lits d'argile qui en forment le toit et le mur. On ne connaît point de couches de houille dans les poudingues ; le charbon n'y existe qu'en veinules.

La puissance du terrain houiller est très variable ; très faible dans certains pays, elle atteint 3600 mètres dans la Galles du Sud et dépasse 4000 mètres en Amérique. Dans la baie de Fundy (Nouvelle Ecosse), des falaises permettent de constater que le terrain houiller a, sur ce point, une épaisseur de plus de 4440 mètres ; les fossiles marins y manquent complétement. On y observe dix neuf couches de houille de 5 centimètres à 1^{m},20 d'épaisseur ; des arbres, débris d'anciennes forêts, apparaissent, placés dans leur situation primitivement verticale, à dix sept niveaux différents. On fixe à 85 le nombre des couches qui existent dans le bassin de Liége ; leur épaisseur moyenne ne dépasse guère un mètre, mais sur quelques points, elle est de 4 ou 5 mètres. Dans les bassins houillers du midi de la France, les couches, moins nombreuses, mais plus épaisses, atteignent quelquefois jusqu'à 30 mètres de puissance.

Les assises dont se composent les bassins houillers présen-

tent une stratification en fond de bateau dont on s'explique la raison d'être en admettant que les mouvements qui avaient donné origine à ces bassins (*antè,* page 187) ont persisté après le comblement de ceux-ci ; les parties centrales de ces bassins ont continué à s'affaisser, et les parties voisines des bords à s'exhausser. Ces assises présentent, en outre, des failles nombreuses et des plissements tels que, dans certains cas, un même puits traverse plusieurs fois la même couche. Elles montrent également des étranglements et des renflements dus aux actions dynamiques qui se sont exercées sur elles après leur dépôt. (Voir livre IX, chap. I et II.)

Les alternances de grès, de schiste et de houille se produisent non seulement dans le sens vertical, mais aussi dans le sens horizontal ; une même couche, lorsqu'il est permis de la suivre à la piste, peut se présenter successivement à l'état de houille, de schiste et de grès, et varier insensiblement de nature. Les bancs de combustible peuvent se dédoubler, se confondre, et, quelquefois, cesser brusquement ; il est même probable que ces bancs de combustible ne se prolongent pas jusqu'au centre des bassins très étendus. Ce que j'ai dit en décrivant l'aspect général d'un bassin houiller à l'époque de son comblement (*antè,* page 187) suffit pour faire comprendre comment ont pu se manifester ces variations dans l'allure des strates qu'il a reçues.

Le terrain houiller dans les Alpes. — Dans le massif alpin, notamment dans sa partie occidentale, on constate l'absence complète des terrains appartenant à la période trilobitique, d'où l'on doit conclure que, pendant cette période, ce massif était émergé. Au dessus des schistes cristallins dépendant de la série azoïque vient immédiatement le terrain désigné, dès le

commencement de ce siècle, sous le nom de *terrain anthraxifère*. En 1823, tandis que Buckland ne parvenait pas à reconnaître le terrain houiller dans le massif des Alpes, son compatriote Bakewell n'hésitait pas à retrouver le terrain houiller dans le terrain anthraxifère, le terrain triasique dans le gypse et le lias dans le calcaire et les schistes à bélemnites. En 1828, M. Elie de Beaumont fit à Petit-Cœur l'observation qui fut le point de départ d'un débat dont j'ai déjà donné un court résumé, ainsi que la conclusion (tome II, page 588); après une discussion qui avait duré près de trente quatre années, la science a été ramenée au point où elle se trouvait d'abord pour Bakewell.

« Le terrain anthraxifère est composé à sa partie inférieure de poudingues plus ou moins grossiers (poudingue de Valorsine); au dessus on voit des schistes argileux renfermant de l'anthracite et les débris d'une nombreuse flore fossile identique à celle du véritable terrain houiller. On le trouve également formé d'une énorme série de grès micacés qui constituent notamment le massif houiller d'Aime, en Tarentaise. Ces grès ont un caractère particulier qu'ils partagent avec les grès des terrains houillers des parties de la France les plus rapprochées. Le calcaire carbonifère manque complétement dans les Alpes. » (Alph. Favre.)

L'anthracite des Alpes est exploité dans un grand nombre de localités et surtout à la Mure (Isère), où se trouvent les meilleures qualités. Il forme des strates peu nombreuses et d'une puissance moyenne d'un mètre environ. Ces strates, parfaitement régulières lors de leur dépôt, ont été disjointes, bouleversées, étirées, amincies sur certains points, renflées sur d'autres, à la suite des puissantes dislocations que le sol alpin a éprouvées. Ce combustible doit ses caractères, non à

une action métamorphique qui l'aurait privé de ses matières bitumineuses, mais aux conditions mêmes qui ont présidé à sa formation. Le terrain anthraxifère occupe une zone qui se développe depuis le Valais jusque dans le département des Hautes Alpes (1), et qui, vers l'est et l'ouest, est limitée par deux lignes à peu près parallèles allant d'Aoste à Briançon et de Saint Maurice à Grenoble; sur le bord occidental, le terrain anthraxifère plonge sous les formations plus récentes, pour aller sans doute se mettre en relation plus ou moins directe avec les lambeaux de terrain houiller de Ternay et de Communay (*antè*, pages 217 et 534). Les espèces végétales du terrain anthraxifère des Alpes, ainsi que son origine évidemment lacustre ou terrestre, m'engagent à le placer dans le système houiller, et non à la partie supérieure du terrain carbonifère ainsi que j'en avais eu d'abord la pensée.

(1) Le terrain anthraxifère des Alpes occidentales s'est déposé sur une surface égale à trois fois au moins la somme des surfaces de tous les terrains houillers de France. Aucun des bassins houillers de l'Europe, considéré individuellement, n'a une surface égale, à beaucoup près, à ce bassin. On peut citer des bassins carbonifères plus grands encore que ce dernier, et propres à faire comprendre que son étendue n'a en elle même rien d'improbable. Le bassin carbonifère du Donetz, dans la Russie méridionale, a une étendue d'environ 2,500,000 hectares. Le bassin carbonifère des Etats d'Illinois et d'Indiana a une étendue d'environ 16,200,000 hectares. (Elie de Beaumont.)

Les dépôts anthraxifères s'étendent encore à travers le canton de Glaris, dans l'Engelberg, au Todi et probablement dans les Alpes de l'Autriche. On les a signalés en Styrie, dans le Saltzbourg, en Carinthie et en Carniole. Les recherches de M. Unger prouvent que les anthracites des Alpes de l'Autriche sont contemporains de ceux des Alpes occidentales. Là aussi les schistes noirs à empreintes de fougères reposent sur le schiste talqueux et le gneiss sans renfermer aucune trace d'organisme marin. (D'Archiac.)

Division du système houiller en deux étages : schistes de Muse et d'Autun. — Les alternances des diverses assises du terrain houiller sont assez régulières et assez uniformes pour qu'il ne soit pas possible, en se basant sur les caractères géognostiques et paléontologiques, d'établir une division de ce terrain en étages, à moins de tenir compte de ce que l'on observe aux environs d'Autun, de Muse, etc. On est alors conduit à diviser le système houiller en deux étages : — I. L'étage *inférieur*, comprenant le *coal measures* des Anglais et la majeure partie des bassins houillers exploités en Europe. — II. L'étage *supérieur*, formé par les schistes d'Autun et par quelques assises qui, sur d'autres points de l'Europe, paraissent se placer sur le même niveau géologique.

La formation que nous désignons sous le nom de *schistes de Muse* se montre à la partie supérieure du terrain houiller du bassin d'Autun; on l'observe notamment à Muse, à Igornay, à Surmoulin, près d'Autun, etc. Cette formation repose en stratification concordante sur le terrain houiller auquel elle se rattache par des alternances qui ne permettent pas d'établir entre eux une ligne de démarcation bien nette. Elle se compose de schistes bitumineux intercalés dans une masse de poudingues et d'arkoses ayant près de 100 mètres d'épaisseur; quelquefois, ils alternent également avec un calcaire gris compacte qui, à la Comaille, près d'Autun, semble constituer à lui seul toute la formation. Les schistes sont noirs, et renferment de petits amas lenticulaires de fer sulfuré; leur richesse moyenne en matière huileuse varie de 9 % jusqu'à une pauvreté absolue. Ces schistes contiennent de nombreux débris de végétaux appartenant à la flore houillère, beaucoup de troncs de conifères silicifiés (ce qui ne s'observe pas dans les autres bassins houillers), des psaronites, et une quantité

immense de débris de *Palæoniscus* avec écailles colorées; à ces débris de poissons se trouvent mêlés de gros coprolites. Les schistes bitumineux de Muse et d'Autun ressemblent complétement aux schistes bitumineux de Thuringe et le calcaire qui les accompagne a l'aspect du zechstein; c'est ce qui d'abord avait fait rattacher les schistes de Muse au nouveau grès rouge; mais actuellement tous les géologues sont d'accord pour les placer à la partie supérieure du terrain houiller. L'observation suivante achève de corroborer cette opinion. Tous les *Palæoniscus* du terrain houiller, excepté ceux du calcaire carbonifère de Bourdiehouse, près d'Edimbourg, ont les écailles lisses, tandis que ceux du nouveau grès rouge les ont striées et ponctuées; or les écailles des *Palæoniscus* des schistes de Muse n'ont jamais de points ni de stries. Cette formation, caractérisée par sa situation géognostique, sa faune, sa flore et ses relations avec le terrain houiller, se retrouve dans le bassin de Saarbruck et près de Lodève.

VII. — SYSTÈME PERMIEN.

Synonymie. — *Etages* des *pséphites* et du *zechstein* ou partie inférieure de la *période salino-magnésienne*, Cordier. — Partie inférieure du *groupe du grès rouge*, Labèche. — *Terrain pénéen*, Omalius d'Halloy. — *Terrain psammérythrique*, Huot. — *Système* ou *étage permien*, Murchison et la plupart des auteurs modernes. — *Dyas*, Marcou, Geinitz.

Historique. — Du temps de Werner, les strates comprises entre le terrain houiller et ce que l'on appelle aujourd'hui le trias, étaient déjà classées de la manière suivante : *roth todt liegende*, *kupferschiefer*, *zechstein*, *rauwacke* et *stinkstein*.

Ces diverses assises étaient confondues, avec le *bunter sandstein*, le *muschelkalk* et le *keuper*, dans un même groupe que M. d'Omalius d'Halloy appelait d'abord formation du *grès rouge* et plus tard *terrain pénéen* (πένης, pauvre), en faisant allusion à sa pauvreté, au point de vue minéralogique et paléontologique, par rapport aux formations houillère et jurassique entre lesquelles il est intercalé. La désignation de *groupe du grès rouge* était adoptée, en 1831, par Labèche. Conybeare, en 1832, et W. Buckland, en 1836, proposaient de la remplacer par celle, l'un de *pœcilitic* et l'autre de *poikilitic* (ποικίλος, varié); mais ces deux désignations n'étaient pas admises, pas plus que celle de terrain *psammérythrique* (ψάμμος, sable; ἐρυθρὸς, rouge), créée plus tard par Huot.

En 1834, la publication de l'ouvrage de d'Alberti eut pour résultat d'amener les géologues à reconnaître l'indépendance du trias et à décomposer le groupe du grès rouge en deux formations distinctes. C'est à la formation inférieure que M. d'Omalius d'Halloy laissa le nom de *terrain pénéen*, et que d'autres géologues réservèrent la désignation de *nouveau grès rouge* (*new red sandstone*).

C'est en 1841 que M. Murchison a proposé de donner au groupe dont il est ici question le nom de terrain *permien*, emprunté à la ville de Perm, située, dans la Russie orientale, au milieu d'une région où les dépôts correspondant au nouveau grès rouge se montrent très riches en minerai ainsi qu'en fossiles et occupent un espace double de celui de la France. La désignation de terrain permien, à peine introduite dans la science, a été rapidement adoptée; aujourd'hui l'expression de nouveau grès rouge est rarement employée et celle de terrain pénéen est complétement tombée en désuétude.

Pour compléter cet historique, je rappellerai que M. J.

Marcou, prenant en considération la possibilité de diviser le nouveau grès rouge en deux groupes, a proposé de remplacer l'expression de terrain permien par celle de *dyas*.

Distribution géographique; mouvements du sol. — Dès le commencement de la période permienne, un premier affaissement du sol a permis aux eaux océaniennes de reparaître en Europe. La mer a envahi toute la partie nord-est de la Russie; elle a occupé en même temps une vaste zone se développant sans interruption depuis la Pologne jusqu'en Angleterre. Dans l'Europe centrale et méridionale, presque totalement émergée, les eaux ne se montraient que sur des surfaces peu étendues et sur des points très éloignés les uns des autres; encore est-il permis de conserver des doutes sur la nature des eaux qui remplissaient les dépressions occupées aujourd'hui en France par le terrain permien. Les débris de corps organisés rencontrés dans le terrain permien de la France n'offrent nullement le caractère de ceux qui se présentent soit dans les formations marines de toutes les époques, soit dans les formations lacustres nettement caractérisées des périodes les moins anciennes : ce sont exclusivement des restes de poissons appartenant aux mêmes types que ceux que nous voyons de nos jours vivre indifféremment dans les eaux douces ou salées. Probablement les bassins où s'est déposé le terrain permien de la France et des contrées où ce terrain a le même faciès que dans ce pays, étaient placées à peu près au même niveau que l'océan, et ne s'en trouvaient séparés que par des dunes ou des plages très basses. La nature saumâtre des eaux contenues dans ces bassins peut s'expliquer en admettant que, comme dans les estuaires, ils recevaient tout à la fois les eaux douces venant de l'intérieur des terres et les eaux salées fournies par

la mer qui de temps à autre faisait invasion. Pendant la période permienne, les domaines des eaux douces et des eaux salées n'étaient pas encore partout nettement distincts l'un de l'autre, comme ils devaient l'être plus tard après l'exhaussement et l'extension des masses continentales.

Pétrographie. — Nous avons vu que, pendant la période houillère, il ne s'était déposé que des roches d'origine détritique. Nous constaterons, au contraire, la prédominance des marnes et des calcaires pendant la période jurassique, ainsi que la rareté des roches détritiques. Les roches du terrain permien, considérées dans leur ensemble, accusent une double origine; lorsque ce terrain se déposait, les phénomènes geysériens et les phénomènes d'érosion superficielle se développaient avec une égale intensité.

Les roches du terrain permien sont surtout des conglomérats et des grès le plus souvent fortement colorés en rouge foncé, des marnes d'un aspect terreux, des schistes marno-bitumineux pénétrés dans quelques localités de matières cuivreuses, des calcaires compactes, fréquemment magnésiens et alors plus ou moins celluleux, et, enfin, de véritables dolomies; sur certains points, le gypse et le sel gemme s'associent à ces divers éléments. — Les roches détritiques sont plus abondantes à la partie inférieure du terrain permien que dans sa partie moyenne et supérieure; elles prédominent lorsque, ainsi que cela s'observe en France, ce terrain se présente sous son faciès lacustre.

Division du terrain permien en étages. — On peut partager le système permien en trois groupes ou étages : — I. L'étage *inférieur* ou des *rothliegendes* (étage des *pséphites*, Cordier

grès rouge des divers auteurs). — II. L'étage *moyen* ou du *zechstein* (partie du *calcaire alpin* des anciens auteurs; *calcaire magnésien* des Anglais); c'est le plus important des trois. — III. L'étage *supérieur* ou *vosgien*.

La puissance de chacun de ces trois étages varie de 100 à 200 mètres. Le premier étage a jusqu'à 1000 mètres d'épaisseur dans le Hartz et le troisième acquiert quelquefois 500 mètres de puissance dans les Vosges.

Faune et flore de la période permienne. — Pendant cette période, les mammifères continuent à manquer complétement; il en est probablement de même pour les oiseaux. Les reptiles commencent à prendre une importance réelle; ils jouent un rôle bien supérieur à celui qu'ils avaient dans les périodes carbonifère et dévonienne. Les sauriens lacertiformes sont représentés par les genres *Protorosaurus* (1) et *Thecodontosaurus*, qui sont spéciaux; les énaliosauriens n'existent pas encore et les labyrinthodontes offrent un genre qui est spécial, le genre *Zygosaurus*. Les poissons sont moins abondants que dans les deux périodes précédentes; cette circonstance, du reste, peut tenir à la moindre étendue géographique du terrain permien; les poissons téléostéens continuent à manquer complétement; les ganoïdes cuirassés paraissent pour la dernière fois (2). Les crustacés de la période permienne sont presque inconnus. Les mollusques sont moins nombreux que pendant la période carbonifère, probablement en partie par les motifs

(1) On en connait deux espèces : le *Protorosaurus Speneri* (*Moniteur fossile* de la Thuringe) et le *P. macronyx*.

(2) Les *Palæoniscus* du zechstein sont moins nombreux que ceux du terrain carbonifère. Parmi les espèces connues, je citerai les *P. Freieslebeni* et *magnus*, du Mansfeld; les *P. elegans* et *longissimus*, de l'Angleterre.

qui ont été indiqués à propos des poissons. Les céphalopodes ont perdu leur grande variété, caractéristique des premiers âges de la période paléozoïque, et ils n'ont pas pris encore celle de la période secondaire. Les gastéropodes et les acéphales diffèrent peu génériquement de ceux de la période carbonifère. Les brachiopodes conservent leurs caractères paléozoïques ; ils n'acquièrent aucun genre nouveau et plusieurs y paraissent pour la dernière fois. Les bryozoaires ont également encore leurs caractères paléozoïques. Les échinodermes et les polypiers sont très rares.

La flore permienne, dont j'ai déjà dit quelques mots (*ante*, page 310), est intermédiaire par ses caractères entre la flore houillère qui l'a précédée et la flore triasique qui l'a suivie ; elle se distingue surtout de la flore houillère par l'absence des sigillaires et le plus grand développement des *Walchia.* Comme formes de passage, on peut citer les *Psaronius* et le *Calamites arenaceus :* les *Psaronius* ont été signalés dans le *rothliegende* de Saxe et de Bohême, mais ce sont des espèces différentes de celles qu'offent les schistes d'Autun ; quant au *Calamites arenaceus*, espèce du trias, il fait sa première apparition dans le grès vosgien. Nos connaissances relatives à la flore permienne ont eu pour base l'étude des débris fournis par les grès permiens de Russie, les schistes bitumineux de la Thuringe et les schistes ardoisiers de Lodève.

Les fossiles les plus caractéristiques sont, parmi les animaux : *Panopœa lunula*, *Mytilus Hausmanni*, *Schizodus Schlotheimii*, *Pecten pusillus*, *Productus Cancrini*, *P. horridus*, *Rhynchonella Schlotheimii*, *Spirifer undulatus*, *Fenestella retiformis*. Ces espèces et la faune qu'elle représentent appartiennent exclusivement à la partie moyenne du terrain permien, c'est à dire à tout ce qui est au dessus du

rothliegende et au dessous du grès vosgien. Parmi les espèces végétales les plus répandues, je citerai : *Walchia hypnoïdes*, *W. Sternbergii*, *W. piniformis*, *W. Schlotheimii*, *Nœggerathia cuneifolia*, *N. expansa*, *Annularia floribunda*, *Lepidodendron elongatum*, *Calamites gigas*, *Nevropteris salicifolia*, *Sphenopteris erosa*, etc.

Le terrain permien en Russie. — D'après M. de Verneuil, « le terrain permien forme en Russie un vaste dépôt qui est évidemment supérieur au terrain houiller et qui s'étend, entre le Volga et l'Oural, d'Orembourg jusqu'au 60e degré de latitude. Il se compose d'alternances de calcaires, de marnes et de grès, disposés de telle sorte que les plus grandes masses de calcaires sont à la base et la plupart des grès à la partie supérieure. Les calcaires et les grès qui alternent renferment de petits *Productus* différents de ceux du calcaire de montagne, plusieurs autres fossiles qui leur sont propres et quelques plantes du terrain houiller; on y rencontre aussi de petits amas de houille. C'est à ce terrain qu'il faut rapporter la plupart des grands dépôts de gypse de la Russie; dans ce terrain se trouvent aussi plusieurs sources salées et les magnifiques salines d'Iletsk Zastchita, où le sel est exploité dans d'immenses carrières à ciel ouvert. Les grès de la partie supérieure sont pauvres en coquilles fossiles, mais on y trouve des ossements de sauriens et des poissons du genre *Palæoniscus*. Ces grès sont connus depuis longtemps sous le nom de grès cuivreux; car, à quelques exceptions près, ils fournissent la plupart des minerais de cuivre de la Russie. » La partie de leur ouvrage que MM. de Verneuil, Murchison et de Keiserling ont consacrée au terrain permien a été l'objet de plusieurs critiques de la part de M. J. Marcou, qui a notamment exprimé la crainte que

ces éminents géologues n'aient réuni au terrain permien une portion du trias.

Tout en professant la plus haute estime pour le travail des auteurs de la *Carte géologique de la Russie,* je crois que le moment n'est pas venu de prendre dans ce pays le type du terrain permien. Sans doute, ainsi que M. de Verneuil le fait remarquer, le gouvernement de Perm est la partie de l'Europe où les mers qui ont succédé immédiatement à la période houillère ont eu le plus d'étendue et où, par conséquent, les dépôts approchent le plus de l'état normal. Mais le terrain permien de Russie n'a pas encore été étudié dans tous ses détails et les termes de comparaison entre ce terrain et les formations correspondantes de l'Europe nous font d'autant plus défaut qu'il existe de part et d'autre, comme le dit M. de Verneuil lui même, une différence lithologique très grande. Pendant quelque temps encore, le type du terrain permien sera pris en Saxe et en Thuringe, où il a été l'objet d'études minutieuses.

Le terrain permien en Allemagne. — Dans le nord de l'Allemagne, le premier étage du terrain permien ou le *rothliegende* (1) est tantôt un conglomérat ou poudingue à gros fragments de quartz, de lydienne, de porphyre, de schiste, etc., tantôt un grès à grains fins, tantôt une argile rouge imprégnée de fer; ce grès et cette argile servent de ciment

(1) En créant l'expression de *rothtodt liegende*, on a eu en vue, dans l'assise qu'elle sert à désigner, sa situation relativement aux schistes cuivreux, sa coloration rouge et sa pauvreté sous le rapport métallurgique. Cette expression des mineurs, qui signifie le mur ou la couche (*liegende*) rouge (*roth*) morte (*todt*), est écrite très différemment par les auteurs. Ainsi Werner écrivait *rothes todtes liegendes*; d'Alberti, *rothliegende*; Quenstedt, *todtliegendes*; d'autres, *rothes todtliegende*, etc.

aux poudingues. Les bancs supérieurs sont ordinairement formés de *grès gris* (*grauliegende*) ou de *grès blancs* (*wiesliegende*). Cet étage ne contient d'autres débris de corps organisés que des empreintes de calamites et de fougères et des troncs de conifères silicifiés.

L'*étage moyen* ou *zechstein* se compose de bas en haut des assises suivantes: 1° L'assise des *schistes marno-bitumineux* (*mergelschiefer*), formée de marnes schisteuses, très fissiles, parfois mêlées de sable ou de bitume. La partie moyenne de cette assise forme une couche qui n'a que de 10 à 20 pouces d'épaisseur, mais qui est remarquable par la constance de ses caractères sur de vastes étendues et par sa composition; c'est une marne imprégnée de bitume, contenant en outre du sulfure de fer, ainsi que des pyrites de cuivre argentifères qui sont exploitées et qui ont fait donner à cette couche le nom de *schistes cuivreux* (*kupferschiefer*); cette couche est encore remarquable par les empreintes de poissons que l'on y a trouvées en abondance, avec des débris de monitors, des fucoïdes, et des fougères assez semblables à celles du terrain houiller. 2° Le *zechstein* (en allemand, pierre de mine) proprement dit est une roche magnésienne, ordinairement compacte à cassure conchoïde, à texture quelquefois celluleuse, et à structure tantôt massive, tantôt schistoïde; sa couleur varie du gris de fumée au brun rougeâtre; il renferme des veines de calcaire spathique et de gypse et quelquefois des substances métalliques, telles que le cuivre carbonaté, la galène, etc. Sa puissance est de 20 à 30 mètres environ. 3° L'assise de la *rauwacke* constituée par un calcaire dolomitique, compacte, de couleur sombre, grisâtre ou noirâtre, dont le caractère essentiel est d'être celluleux, et même caverneux; ces cavités sont longues et couchées dans le sens de la stra-

tification; on remarque que la puissance de la couche, qui varie de 1 à 15 mètres, est en raison du nombre et de la grandeur des cavités. Ce calcaire prend quelquefois une structure bréchoïde. 4° L'*asche* (cendre) forme une couche de 1 à 2 mètres d'épaisseur; c'est un calcaire friable, donnant une poussière grise, lorsqu'il est desséché. 5° Le *stinkstein* (pierre fétide) est un calcaire brun, noirâtre ou verdâtre, bitumineux, essentiellement fétide par percussion ou frottement, à structure massive, bréchoïde ou schistoïde. Sa puissance varie de 1 à 30 mètres. Il renferme du fer hydraté, du gypse et peut-être aussi du sel gemme, car on en voit sortir des sources salées. 6° Le *lettan* est une couche de marne argileuse, gris bleuâtre ou gris verdâtre, contenant quelquefois des rognons de dolomie et des cristaux de sulfate de chaux; son épaisseur est d'un mètre environ.

Le système permien en Angleterre, en France, etc.; schistes de Lodève. — Dans le nord de l'Angleterre, le terrain permien forme une bande s'appuyant contre la chaîne carbonifère qui se dirige, dans cette contrée, du nord au sud. On y distingue six assises qui correspondent assez exactement à celles dont ce même terrain se compose dans le nord de l'Allemagne. Le *rothliegende* est représenté par des *grès inférieurs* associés à du gypse et à des marnes rouges; les *schistes marno-bitumineux*, par des *schistes marneux* alternant avec des lits calcaires très minces et renfermant des débris de *Palæoniscus*, de *Pygopterus* et de *Cœlacanthus;* le *zechstein*, par un *calcaire compacte* et fossilifère, avec *Fenestella retiformis* et *Productus horridus* comme en Allemagne; la *rauwacke*, par un *calcaire bréchoïde.* Aux assises supérieures du terrain permien de l'Allemagne correspond, en Angleterre, une assise dont la stratification est très

irrégulière et qui est constituée en majeure partie par un calcaire concrétionné passant quelquefois à une dolomie grenue ou à des lits pulvérulents et terreux. L'ensemble des diverses assises superposées aux grès inférieurs est réuni sous la désignation de *calcaire magnésien* (*magnesian limestone*.)

Dans la partie inférieure du grand dépôt arénacé des Vosges, on observe quelquefois des couches qui diffèrent très notablement du reste de la masse, à laquelle ils se lient cependant par une dégradation insensible des caractères et par la continuité de la stratification. Elles sont moins solides et contiennent peu ou point de ces galets de quartz arrondis qui se font si généralement remarquer dans le grès des Vosges. Leurs éléments sont ordinairement plus grossiers, moins bien agglutinés et plus diversement colorés que dans le restant de la masse. Souvent leur couleur rouge est plus foncée, et souvent aussi elles offrent des parties jaunes ou d'un gris bleuâtre. Certaines couches sont presque argileuses, et présentent des strates fissiles et couvertes de mica blanchâtre, qu'on ne rencontre que très rarement dans le grès des Vosges proprement dit, mais qu'on retrouve en abondance dans le grès bigarré. En général, cette partie inférieure du dépôt arénacé des Vosges a une ressemblance frappante avec le *rothliegende* des Allemands. (Elie de Beaumont.)

Le terrain permien se retrouve à la montagne de la Serre, où il repose directement sur le gneiss, et où il se montre composé de poudingues, de grès d'une couleur rougeâtre très foncée, alternant avec des argiles sableuses, micacées, lie de vin ou verdâtres. On y rencontre des empreintes de *Walchia Schlotheimii* et *hypnoïdes* : j'y ai recueilli un fragment de mâchoire me paraissant appartenir au *Protorosaurus Speneri*, de la Thuringe. C'est encore au terrain permien que se rat-

tachent une partie des grès supra-houillers de Saône et Loire et, notamment, ceux qui, dans la carrière des Thérots, près de la Gaîté, contiennent en très grande abondance les *Walchia Schlotheimii* et *hypnoïdes*. Le terrain permien existe, enfin, près d'Alboy (Aveyron) et dans les environs de Lodève; dans ces deux localités, de même que dans Saône et Loire, il présente des caractères pétrographiques assez uniformes pour montrer que, sur tous ces points, il s'est formé sous l'influence de circonstances à peu près identiques. Le terrain permien recouvre immédiatement le terrain houiller et débute par des poudingues; puis viennent dans Saône et Loire, des argiles schisteuses, noires, avec fer carbonaté et des grès jaunâtres avec *Walchia Schlotheimii* et *hypnoïdes*; — à Alboy, des schistes bitumineux avec plantes fossiles et rognons de fer carbonaté; — à Lodève, des dolomies et des schistes bitumineux, recouverts par des schistes ardoisiers, avec *W. Schlotheimii* et *hypnoïdes*. Enfin le terrain permien se termine par des grès rouges dans Saône et Loire, des calcaires, près d'Alboy, et des schistes noirâtres, près de Lodève. (Coquand.)

En Espagne, l'existence du terrain permien est douteuse; quelques grès rouges et poudingues sans fossiles de la base du trias pourraient y être rapportés. (De Verneuil.)

Grès des Vosges et grès bigarré inférieur. — Le noyau central des Vosges est entouré par d'autres montagnes, dont les formes aplaties et carrées contrastent avec les profils arrondis de ce noyau : ces montagnes sont composées d'une roche connue sous le nom de *grès vosgien* ou de *grès des Vosges*. Les caractères généraux de ce grès sont à peu près les mêmes dans toute l'étendue qu'il embrasse; il est toujours essentiellement formé de grains de quartz, dont la grosseur varie depuis celle

d'un petit grain de millet jusqu'à celle d'un grain de chénevis. Ils sont généralement recouverts d'un enduit ferrugineux, rouge de brique qui donne sa nuance à la roche. Au milieu des grains quartzeux, on observe d'autres grains moins nombreux, d'un blanc mat, qui paraissent des fragments de feldspath en décomposition. Ce grès renferme quelquefois des galets quartzeux, d'une nature particulière, propres au grès des Vosges, qui en font souvent un véritable poudingue. Il ne renferme pas de débris d'animaux; les fragments de végétaux sont très rares : on y a trouvé quelquefois des empreintes de *Calamites arenaceus* et des tiges de calamites. Ce grès des Vosges qui, à Raon-l'Etape, atteint 500 mètres de puissance, est en couches dont l'épaisseur varie de $0^m,50$ à 1 mètre. Il est en stratification concordante avec le grès rouge ou permien; tantôt il repose immédiatement sur lui, et l'on constate alors un passage insensible de l'un à l'autre; tantôt il en est séparé par des amas de dolomie que quelques géologues ont considérés comme représentant le zechstein. (Elie de Beaumont.)

Voltz rattachait le grès des Vosges au grès bigarré. M. Elie de Beaumont, dont nous adoptons ici la manière de voir, le considère comme une formation indépendante, distincte du grès bigarré et du zechstein entre lesquels il vient se placer dans l'échelle géologique. Le système du Rhin (voir tome II, page 475) a surgi entre le dépôt du grès vosgien et celui du grès bigarré. Ce dernier forme autour des Vosges une zone presque continue, qui s'étend en général au pied des montagnes de grès des Vosges, comme une mer au pied d'une falaise, ce qui indique, dit M. Elie de Beaumont, que le dépôt du grès bigarré n'a pas succédé sans interruption, ou du moins sans secousse, à celui du grès des Vosges.

Avec M. Coquand, nous considérons, comme étant le pro-

longement du grès vosgien, l'arkose de la montagne de la Serre (Jura) et celle du bassin de Blanzy. A la montagne de la Serre, l'arkose, dont la puissance est de 25 mètres au plus, se montre en stratification discordante avec le grès permien et quelquefois en discordance d'isolement avec le grès bigarré, ce qui prouve son indépendance; elle recouvre en couches horizontales les strates redressées du grès permien ou du gneiss et, sur certains points, ne supporte aucune autre formation. Dans le département de Saône et Loire, l'arkose est superposée, en stratification discordante, sur la grauwacke, le grès houiller et le grès permien; aux environs d'Autun et du Mont Saint Vincent, elle couronne les plateaux granitiques sans être recouverte par aucune autre roche. (Coquand.)

Dans la Thuringe, en Saxe et dans la Hesse, les géologues ont divisé le grès bigarré en deux parties; M. Murchison et Morris sont portés à rattacher le grès bigarré inférieur au système permien; il nous paraît permis de considérer, au moins provisoirement, ce grès bigarré inférieur comme correspondant au grès vosgien; il se trouve dans une situation semblable et, comme lui, renferme le *Calamites arenaceus*.

Le grès vosgien, que nous inscrivons dans notre classification à titre d'étage, n'a pas été signalé sur d'autres points que ceux où nous venons d'indiquer sa présence. Il n'a fourni aucun débris appartenant au règne animal et sa flore, d'une grande pauvreté, ne renferme aucune espèce caractéristique. Si ce n'était les conditions stratigraphiques dans lesquelles il se présente, son autonomie ou, tout au moins, son importance pourraient être contestées. Peut-être une étude détaillée du terrain permien de la Russie fournira-t-elle les moyens d'apprécier le rôle que le grès vosgien joue dans la série géologique.

SÉRIE TRIASIQUE

Comprenant un seul système.

VIII. — SYSTÈME TRIASIQUE.

Historique; synonymie; sa division en étages. — C'est en 1834 que M. F. d'Alberti publia son *Essai sur une monographie du bunter sandstein, du muschelkalk et du keuper*. L'auteur, après avoir étudié ces terrains avec soin dans le grand-duché de Bade et dans le Wurtemberg, démontra qu'ils forment un seul et même ensemble auquel il proposa de donner, à cause de sa composition ternaire, le nom de *trias*.

Le grès bigarré, le muschelkalk et le keuper existent également en France. En 1829, Alex. Brongniart avait proposé de remplacer ces désignations par celles de *terrain pœcilien* (ποικίλος, varié), *calcaire conchylien* (κογχύλιον, coquille) et *marnes irisées;* les deux dernières sont seules en usage. Cordier a donné aux terrains permien et triasique réunis le nom de *formation salino-magnésienne*. Quant à d'Orbigny, il a partagé le trias en deux étages; l'étage *conchylien* (grès bigarré et muschelkalk) et l'étage *saliférien* (marnes irisées).

Cette disposition ternaire, que le trias présente en France et en Allemagne, n'existe pas en Angleterre. Dans ce dernier pays, on observe, entre le terrain houiller et le lias, une longue série de roches schistoïdes, de grès, de psammites et d'argiles, ordinairement colorées en rouge; nous avons vu

que, depuis longtemps, les Anglais donnent à cet ensemble le nom de *nouveau grès rouge*, et qu'ils le divisent en deux parties : le *grès rouge inférieur* ou terrain *permien* et le *grès rouge* supérieur ou *trias*.

Dans le Tyrol méridional et quelques autres contrése de l'Europe, le trias possède un quatrième terme ayant pour types le calcaire de Saint Cassian et les couches de Hallstadt.

Le nom de trias est universellement adopté, mais, en l'employant, il faut oublier sa signification et se rappeler que le terrain triasique se compose, suivant les localités, d'un seul, de deux, de trois et même de quatre termes. Une classification rationnelle du trias doit comprendre tous les termes dont ce terrain est formé. Il faut donc le diviser en quatre étages :

I. — Étage du *grès bigarré* ou du *bunter sandstein ;*

II. — Étage du *calcaire conchylien* ou du *muschelkalk ;*

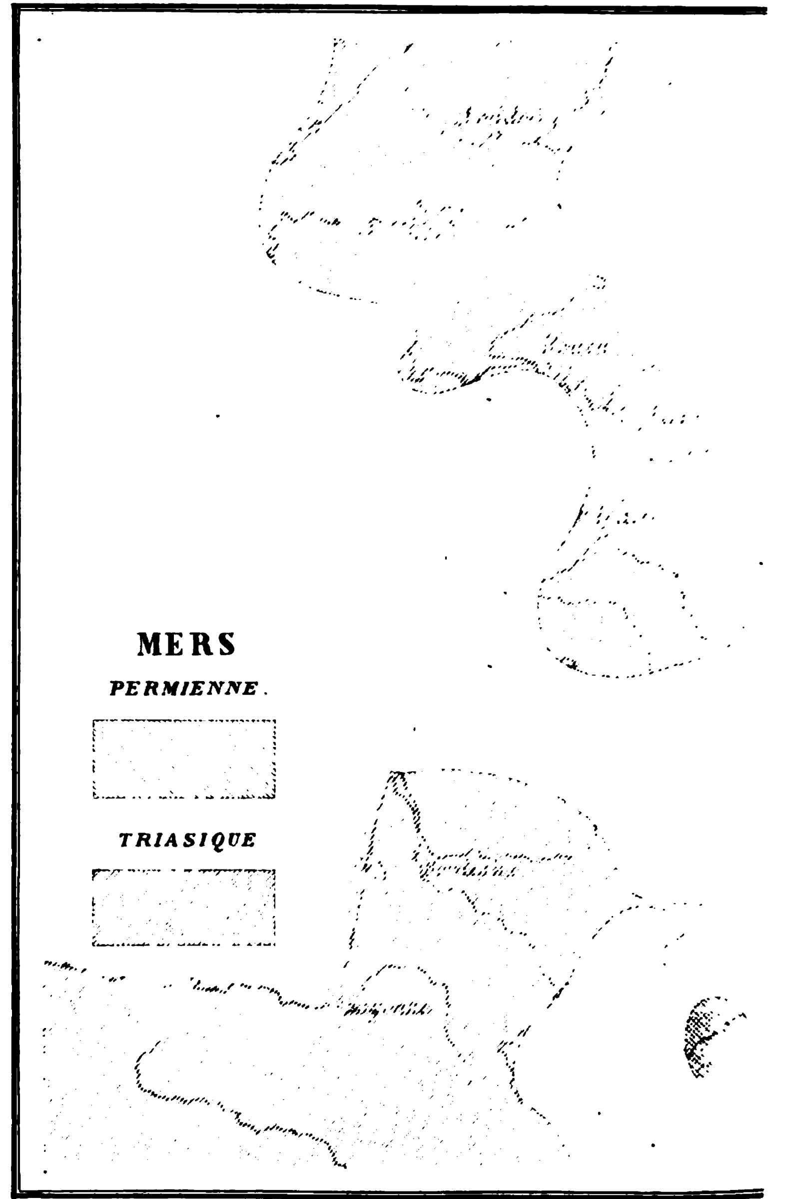
III. — Étage des *marnes irisées* ou du *keuper ;*

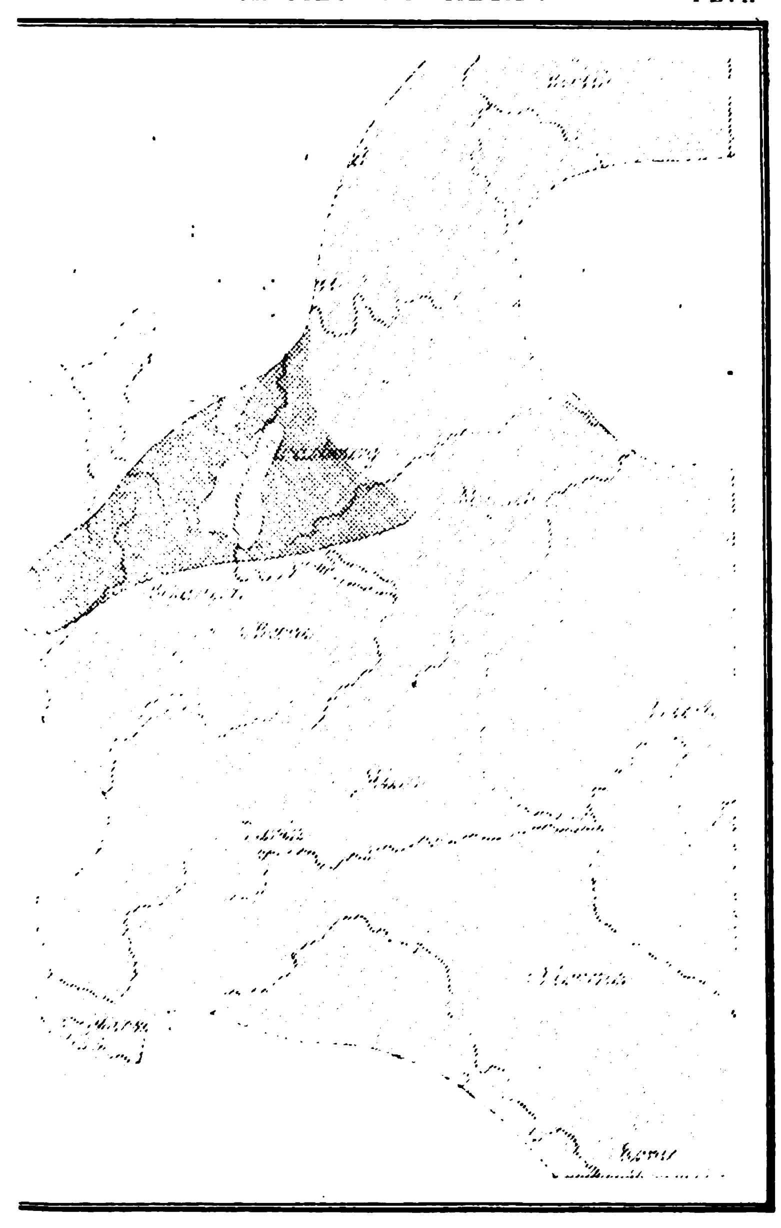
IV. — Étage du *calcaire de Saint Cassian.*

Distribution géographique ; mers de la période triasique. — Vers le commencement de la période triasique, les eaux océaniennes ont envahi la majeure partie de la France et des régions voisines, de manière à imprimer au sol de ce pays quelques uns des principaux traits de sa configuration actuelle. Le changement le plus important que le relief de la France a reçu depuis la période triasique a été l'exhaussement progressif du massif alpin qui s'est élevé sur l'emplacement de la mer jadis comprise entre la France et l'Autriche.

Les petits continents qu'entourait la mer de la période triasique sont devenus les régions montagneuses de l'époque actuelle; ces continents, où le terrain triasique ne saurait exister, étaient : le plateau central atteignant les environs de Grenoble

CARTES DES





et allant se souder au massif anglo-breton, qui n'était pas comme aujourd'hui scindé en deux parties par la Manche, le massif ardenno-vosgien se développant vers l'intérieur de l'Allemagne, les montagnes des Maures et de l'Estérel, en Provence, faisant partie d'un continent qui s'étendait sans doute jusqu'en Corse, et la partie orientale des Pyrénées.

Sur tout l'espace compris entre ces régions le trias existe, mais est recouvert par les formations plus récentes. La partie de ce terrain qui se présente à l'observation constitue autour des massifs que je viens de nommer une zone qui n'a pas partout la même largeur, qui se rétrécit quelquefois et éprouve même des solutions de continuité. Pour se rendre compte des variations que l'on remarque dans la largeur de cette zone, il faut se rappeler dans quelles conditions les mouvements du sol se sont opérés le long des rivages de la mer triasique, lorsque la période du lias allait commencer. Certaines parties de l'écorce terrestre se sont exhaussées; d'autres, sans doute par suite d'un mouvement de bascule, se sont affaissées. Sur les points où il y a eu exhaussement, le trias, émergé et mis à découvert au moment de l'invasion des eaux de la mer infraliasique, occupe une étendue plus ou moins grande; sur les points où il y a eu affaissement, ces mêmes eaux ont débordé sur le trias; aussi les strates jurassiques passent-elles alors au dessus de ce terrain pour aller se mettre en contact avec les formations anté-triasiques.

Si le lecteur suit attentivement sur la *Carte géologique de la France* le tracé des lignes stratigraphiques qui ont été mentionnées comme se rattachant aux systèmes du Thuringerwald et du Mont Seny (tome II, pages 478 et suivantes), il verra que ces lignes rencontrent précisément ou laissent à peu de distance les localités où le trias se montre à découvert. Or, cette coïncidence ne doit pas nous étonner, puisque les systèmes

du Mont Seny et du Thuringerwald sont immédiatement postérieurs au dépôt de ce terrain dont l'émersion est due en partie à leur apparition. D'un autre côté, le mode de distribution du trias vient à l'appui de l'opinion que nous avons adoptée relativement à l'âge de ces deux systèmes.

Lors de la période triasique, les eaux océaniennes formaient au centre de l'Europe une sorte de mer intérieure au milieu de laquelle s'élevaient sous forme d'îles le massif ardennais et un autre massif occupant l'emplacement de la Bohême. Cette mer intérieure se trouvait limitée par des régions émergées soudées entres elles et déterminant une enceinte continue. Ces régions étaient le plateau central de la France, le massif breton, l'Irlande, l'Ecosse et le Pays de Galles, la presqu'île scandinave et presque toute la Russie (1). Cette mer atteignait sa plus grande extension, et, sans doute aussi, sa plus grande profondeur, si nous en jugeons par la puissance des dépôts qu'elle y a reçus, dans une zone comprenant le nord de l'Italie et toute la région des Alpes, depuis Grenoble jusqu'en Autriche. Cette mer pénétrait en France en passant au nord des montagnes de l'Estérel; elle allait baigner le versant sud du plateau central, puis se dirigeait en Espagne après avoir recouvert la partie ouest des Pyrénées.

Pétrographie et puissance du terrain triasique. — Le trias offre,

(1) Il paraît aujourd'hui certain que le trias manque dans toute la partie centrale de la Russie d'Europe, car, entre la rive droite du Volga et la Baltique, comme du gouvernement de Wladimir à la vallée du Dniester, les dépôts jurassiques, crétacés ou tertiaires recouvrent directement les roches carbonifères, dévoniennes ou granitiques. Ce n'est qu'au nord-est, à l'est, et en un point du sud de cette vaste région, qu'on peut rencontrer des traces de la formation qui nous occupe. (D'Archiac.)

sous le rapport pétrographique, une similitude presque complète avec le terrain permien. Les roches dont il se compose sont tantôt des argiles, des grès et des conglomérats qui se sont constitués à la suite de dénudations générales et persistantes; tantôt des calcaires et des dolomies accusant par leur abondance une action geysérienne très énergique. C'est sous l'influence de cette action que se sont formées ces puissantes accumulations de gypse et de sel gemme qui se montrent, à divers niveaux, dans presque toutes les contrées où le trias existe (1); c'est encore l'action geysérienne qui a amené les substances qui impriment au grès bigarré et aux marnes irisées leurs couleurs vives et variées; c'est elle, enfin, qui a apporté les substances métalliques qui imprègnent fréquemment les roches triasiques ou s'y montrent en filons exploitables. Lorsqu'on recherche quel est le mode de distribution des deux sortes de roches qui entrent dans la composition du terrain triasique, on les voit former des assises distinctes où dominent tantôt les grès et les conglomérats, tantôt les calcaires et les dolomies. Les assises gréseuses se montrent à la base de la série, puis alternent avec les assises calcaires.

La plus grande épaisseur totale atteinte par le trias sur un même point peut être évaluée à 800 mètres qui se répartissent d'une manière très inégale, suivant les localités, entre chacun des quatre étages dont ce terrain se compose.

Faune; flore. — La faune triasique, qui a déjà attiré notre attention (*anté*, page 313), est caractérisée d'abord par l'absence

(1) Le trias est certainement la formation qui renferme le plus de sel gemme et l'épithète de *salifère* appliquée à ce terrain est parfaitement justifiée. Le sel gemme (dont j'ai indiqué l'origine et le mode de formation, tome I, page 451) n'occupe pas toujours le même niveau dans ce terrain.

complète des mammifères et presque complète des oiseaux. Les seuls témoignages de l'existence des oiseaux pendant la période triasique sont les ornithichnites rencontrés dans les Massassuchets (*antè*, page 291). Quant aux mammifères, je les avais d'abord considérés comme s'étant montrés pour la première fois, du moins en Europe, pendant la période du trias, parce que je rattachais à cette période le *bone-bed* du Wurtemberg où l'on a trouvé le *Microlestes antiquus* (*antè*, page 292 et 313). Un nouvel examen de la place qu'il est convenable d'accorder à ce dépôt dans la série géologique m'a engagé à le ranger à la base du système infraliasique.

Pendant la période triasique, les reptiles deviennent assez abondants et commencent à prendre par leur variété et leur taille l'importance qu'ils présenteront pendant les périodes jurassique et crétacée. Cette classe est surtout représentée par des sauriens et des labyrinthodontes; parmi les genres spéciaux se trouvent les genres *Nothosaurus* et *Simosaurus*, appartenant à l'ordre des énaliosauriens, et le genre *Mastodonsaurus* faisant partie des labyrinthodontes (1). Les poissons sont à peu près dans les mêmes conditions que ceux de la période permienne; ils ont comme eux des caractères paléozoïques; les téléostéens manquent complétement et les ganoïdes sont encore hétérocerques. Les crustacés sont très différents de ceux des faunes paléozoïques; la plupart appartiennent à l'ordre des décapodes presque inconnu dans les faunes précé-

(1) C'est au type des labyrinthodontes qu'appartenait l'animal dont on a fait le genre *Cheirotherium* et qui n'est représenté que par des empreintes de pas assez semblables à celles que laisserait la main d'un homme. Ces empreintes se rencontrent de temps à autre dans les couches triasiques du nord de l'Europe. C'est près d'Hildburghausen, en Saxe, que ces empreintes ont été signalées pour la première fois.

dentes. J'ai déjà indiqué les principaux caractères des mollusques (*antè*, page 313); j'ajouterai que le genre *Ceratites* est presque spécial et que c'est lors de la période triasique qu'apparaissent, dans le Tyrol et les régions voisines, les genres *Ammonites* et *Belemnites*, destinés à jouer un rôle si important dans les faunes des périodes suivantes. Quant aux échinodermes et aux polypiers, les uns et les autres sont relativement peu nombreux ; ils ne montrent presque aucun type paléozoïque ; le genre *Encrinus* est propre à la période du trias.

Parmi les espèces végétales les plus répandues dans le terrain triasique, je citerai : *Voltzia heterophylla, V. acutifolia, Haidingera speciosa, Taxodites Munsterianus, Zamites acuminatus, Pterophyllum longifolium, Nevropteris Voltzii, Anomopteris Mougeotii, Pecopteris Sultziana, P. Meriani, Odontopteris cycadea, Equisetum Meriani, E. columnare, Calamites arenaceus;* on sait maintenant que ces deux dernières espèces font double emploi et que le *Calamites arenaceus* est la partie interne de l'*Equisetum columnare.*

Parmi les fossiles caractéristiques appartenant au règne animal, il faut mentionner : *Ceratites nodosus, Nautilus bidorsatus, Natica Gaillardoti, Rostellaria antiqua, Myophoria Goldfusii, Lima lineata, Avicula socialis, A. Bronnii, Posidonia minuta, Mytilus eduliformis, Pecten inequicostatus, Terebratula vulgaris, Spirifer fragilis, Encrinus moniliformis* ou *liliiformis*, *Prionastræa polygonalis.* Quant aux espèces particulières au calcaire de Saint Cassian, je les mentionnerai en parlant du trias de cette localité.

Les débris de la flore du trias se trouvent principalement dans les roches détritiques et, par conséquent, dans le grès bigarré et les marnes irisées; ces débris, provenant de plantes terrestres, ont été entraînés sur les points où ils existent

avec les détritus de roches constituant les assises qui les renferment. Au contraire, les fossiles animaux appartiennent presque exclusivement aux roches calcaires et, par conséquent, soit au muschelkalk des diverses contrées de l'Europe, soit au calcaire de Saint Cassian, dans le Tyrol. Pour rendre compte de la pauvreté du grès bigarré et des marnes irisées en débris du règne animal, on peut supposer que ces débris ont été détruits au contact des sables et des graviers qui étaient longtemps agités par les eaux avant de se constituer en roches; mais il est possible aussi que les mers qui ont reçu le grès bigarré et les marnes irisées fussent peu favorables au développement de la vie à cause des nombreuses substances d'origine geysérienne qu'elles renfermaient.

Le trias dans le Wurtemberg. — Depuis les travaux de d'Alberti et de Quenstedt, le trias de ce pays est devenu classique et doit être pris pour terme de comparaison lorsqu'on étudie ce terrain dans les autres pays. Il se divise en trois étages.

L'étage du *grès bigarré* (*bunter sandstein*) a 230 mètres d'épaisseur. Il est formé d'un grès à grains quartzeux auquel se mêlent quelquefois des cailloux de quartz arrondis de la grosseur d'une noix. Les grains de quartz sont cimentés par du feldspath blanc à moitié décomposé, remplacé par de l'oxyde rouge de fer dans le voisinage des couches argileuses alternant avec le grès. Celui-ci est fréquemment moucheté d'oxyde de manganèse, d'où le nom de *grès tigré* (*tiger sandstein*) qu'on lui a quelquefois donné. Il se montre en bancs épais, surtout vers la partie inférieure de l'étage. Vers la partie supérieure, il devient argileux et se pénètre de paillettes de mica. Lorsqu'on s'approche du muschelkalk, on trouve des marnes bleues ou vertes, en lits minces, ressemblant tout à

fait à celles du groupe supérieur, et dans lesquelles apparaissent aussi des veines de gypse. Le grès bigarré est presque complétement dépourvu de fossiles; on n'y rencontre que quelques débris de végétaux et de sauriens.

Le *muschelkalk* se divise en quatre assises: 1° Groupe du *calcaire ondulé* (*wellenkalk*), comprenant des marnes dolomitiques, des dolomies et des calcaires présentant à leur surface des ondulations et des inégalités semblables à celles que produisent les courants. Les roches, vers la partie supérieure de ce groupe, sont fortement imprégnées de silice et de bitume; elles offrent une texture noduleuse et celluleuse; elles renferment une grande quantité d'oolites semblables à celles de l'oolite inférieure. Les fossiles sont nombreux vers la partie inférieure; ils sont à l'état de moules et appartiennent aux mêmes espèces que ceux de la troisième assise. — 2° Groupe de *l'anhydrite*, caractérisé par la présence du gypse, du sel et des argiles salifères si importantes pour le pays; les fossiles manquent complétement ou ne sont pas déterminables. 3° Groupe du *muschelkalk supérieur* (*calcaire gris de fumée*, Mérian et *calcaire de Friedrichsall*, d'Alberti), formé par un calcaire en bancs très épais, régulièrement stratifié, offrant ordinairement une couleur gris de fumée et plus rarement des nuances vives, comme le rouge brique ou le jaune paille. Le nom donné à ce calcaire indique assez que les débris organiques s'y montrent très nombreux; ceux-ci sont presque toujours fortement empâtés dans la roche; l'abondance des articulations d'*Encrinites liliiformis* lui a également valu le nom de *calcaire à trochites* (*trocritenkalk*). Quelquefois aussi, ce calcaire prend une texture finement poreuse, d'où le nom de *calcaire écumeux* (*schaumkalk*) qu'il reçoit alors. Vers la partie supérieure du groupe, le calcaire devient dolomitique

et se pénètre de silice et de substances métalliques. Les bancs les plus élevés présentent une structure particulière résultant de la présence des stylolites. 4° Groupe des *argiles charbonneuses* (*lettenkohle*), montrant successivement des argiles schistoides, un grès gris employé pour la construction, des argiles charbonneuses avec lignite non exploitable, une dolomie d'une teinte foncée avec raies d'un jaune clair, d'où son nom de *dolomie flammulée* (*flammen dolomit*), et enfin une mince assise de muschelkalk gris de fumée.

Le *keuper* se divise en 5 groupes : 1° Groupe du *gypse et des argiles keupériennes* ; ces argiles sont rouges et ont une tendance à s'onduler ; elles alternent avec des lits minces et fibreux de gypse ; celui-ci forme en outre des bancs plus ou moins épais vers le milieu du groupe. 2° Groupe du *grès vert* ou *à roseaux* (*schilfsandstein*) ; ce grès est à grains très fins, tantôt d'un vert sale, tantôt rougeâtre ; c'est lui qui fournit la pierre à bâtir de Stuttgart. 3° Groupe des *argiles panachées*, formé d'argiles aux teintes vives et variées, généralement magnésiennes, renfermant beaucoup de substances minérales. 4° Groupe du *grès blanc*, fournissant des meules, des pierres de construction, et un sable pour les appartements, d'où son nom de *stuben-sand* ; il renferme des morceaux de jayet et supporte une assise d'argile rouge. 5° Groupe du *grès jaune* ou de *Tubingen*.

Le trias couvre une partie de l'Allemagne en conservant les mêmes caractères et la même allure qu'il présente dans le Wurtemberg ; vers le nord, il plonge sous les formations plus récentes et se prolonge jusqu'à une distance indéterminée.

Le trias dans l'Alsace, la Lorraine et le nord de la Franche-Comté. — Dans le nord-est de la France, le trias forme une zone assez

large qui se prolonge, sans solution de continuité, du département de la Haute Saône jusque dans l'Eifel; cette zone s'appuie à l'est sur les roches anté-triasiques dont se composent les Vosges; à l'ouest et au sud, elle s'enfonce sous le terrain jurassique; au nord, elle recouvre, en stratification discordante, les schistes ardoisiers de l'Ardenne et de l'Eifel où elle se termine en formant de petits lambeaux qui couronnent les plateaux du terrain de transition. On va voir que, sur toute cette zone, le trias conserve les mêmes caractères qu'en Allemagne.

« La partie inférieure du *grès bigarré* est composée d'un grès à grains fins, le plus souvent d'un rouge amaranthe, contenant de petites paillettes de mica disséminées irrégulièrement. Ces premières couches sont fort épaisses et fournissent partout de très belles pierres de taille. En s'élevant davantage dans la formation, on en trouve de plus minces, qui sont exploitées pour faire des meules à aiguiser. Plus haut encore, il en existe de très minces et de très fissiles, qu'on exploite comme dalles pour paver les maisons et comme ardoises pour les couvrir. Elles deviennent quelquefois très peu consistantes, et passent même à une argile bigarrée qui est employée comme terre à brique. Les assises supérieures de la formation du grès bigarré renferment souvent des couches peu épaisses de calcaire marneux et de dolomie, premiers rudiments d'un système de couches qui lui est superposé. A mesure qu'on s'élève, ces couches sont plus rapprochées et finissent par remplacer entièrement le grès. — La formation du *muschelkalk* se compose généralement d'un calcaire compacte gris de fumée, tantôt à cassure conchoïde et tantôt à cassure unie en grand et inégale en petit. Le muschelkalk est souvent assez riche en fossiles. Les assises supérieures de cette formation présentent fréquemment une marne schisteuse grise, qu'on voit, en s'élevant,

prendre une teinte verdâtre de plus en plus décidée. Bientôt la disposition schisteuse diminue, la teinte verdâtre devient plus prononcée, et est interrompue çà et là par des taches rouges. C'est alors qu'on passe aux *marnes irisées,* qui se composent ordinairement d'une marne bigarrée de rouge lie de vin et de gris verdâtre ou bleuâtre, qui se désagrège en fragments à formes conchoïdes, dans lesquels on ne reconnaît aucune trace de disposition schisteuse. Vers le milieu de l'épaisseur des marnes irisées, on rencontre constamment un système composé de couches d'argile schisteuse noirâtre, de grès à grains fins et terreux, de couleur gris bleuâtre ou d'un rouge amaranthe, et de dolomie compacte, grisâtre ou jaunâtre, à cassure esquilleuse, quelquefois celluleuse. Les couches de grès et d'argile schisteuse renferment très fréquemment des empreintes végétales, et souvent aussi des couches de combustible qui sont l'objet de différents travaux. Les masses de sel gemme reconnues à Vic, à Dieuze, et dans plusieurs autres points de la Lorraine, sont situées, pour la plupart, dans la partie inférieure des marnes irisées, c'est à dire au dessous du système des couches de dolomie, de grès et de combustible. On remarque aussi des masses de gypse à cette hauteur, tandis que d'autres, moins constantes, se montrent dans la partie supérieure du système.» (*Exp. de la carte géol. de la France.*)

Le trias dans le centre de la France, en Normandie, et en Angleterre. — Lorsqu'on s'éloigne de la Lorraine en se dirigeant vers le sud-ouest, on voit le trias plonger sous les strates jurassiques pour reparaître dans le département de Saône et Loire. Il forme ensuite, le long de la lisière nord du plateau central, une zone qui se rétrécit de plus en plus et ne va pas au delà du département de l'Indre. Un lambeau de trias reparaît dans le

département de la Manche aux environs de Carentan, sans que l'on puisse indiquer d'une manière précise quelle direction le trias prend, pendant son trajet souterrain, entre ce lambeau et la zone qui s'appuie sur le versant nord du plateau central. Peut-être subit-il une interruption complète entre ces deux points, ce qui indiquerait l'absence de toute communication entre la mer triasique du nord-est de la France et celle de l'Angleterre. Peut-être aussi, et c'est ce qui nous paraît plus probable, le rivage de la mer triasique allait-il d'un point à l'autre en contournant le massif breton de manière à exagérer vers le nord-est le contour que dessine la bande de terrain jurassique se dirigeant du Poitou vers la Normandie. Tout démontre, au contraire, qu'il y a continuité entre le lambeau de terrain triasique de Carentan et le trias qui reparaît de l'autre côté de la Manche à Exmouth. Le trias forme ensuite une zone flexueuse qui se prolonge sans interruption d'Exmouth jusqu'à l'embouchure de la Teess, en s'appuyant sur les terrains anciens de la Cornouaille et du pays de Galles.

Sur toute l'étendue de la zone où nous venons de suivre le trias, depuis le département de Saône et Loire jusqu'au nord de l'Angleterre, le caractère général de ce terrain, ou du moins celui qui le distingue du trias du Wurtemberg, c'est l'absence d'une assise pouvant se rattacher au muschelkalk par sa nature calcaire, sa situation géognostique ou ses fossiles.

En Angleterre, le terrain triasique se partage en deux groupes que les géologues de ce pays rapportent l'un au grès bigarré, l'autre au keuper, sans qu'ils aient pu trouver entre ces deux groupes un représentant quelconque du muschelkalk. — Le groupe *inférieur* (*upper new red sandstone*) est formé de grès et de conglomérats; les grès sont ordinairement rouges, quelquefois bigarrés. — Le groupe supérieur (*red marl and*

keuper sandstone) est principalement composé de marnes rouges, plus rarement vertes, alternant avec des grès argileux; quelques bancs de ces grès, existant à la partie inférieure de ce groupe, ont reçu le nom de *waterstones*, à cause des sources qui s'en échappent. Le groupe supérieur contient du gypse et du sel gemme exploités sur plusieurs points. — Le trias de l'Angleterre a une épaisseur moyenne de 200 à 300 mètres ; cette épaisseur, quelquefois moindre, peut aller jusqu'à plus de mille mètres. Il est pauvre en débris de corps organisés ; on y trouve pourtant quelques fossiles identiques à ceux du continent et notamment la *Posidonomya minuta*.

Le trias dans le Jura et les Alpes, en Suisse et en Italie. — Si nous revenons à notre point de départ, c'est à dire en Lorraine, pour nous diriger vers le sud-est, nous verrons que le trias, tantôt mis à découvert, tantôt caché sous les formations plus récentes, se prolonge sans interruption jusqu'en Italie.

Le trias plonge au dessous du Jura et ce n'est que sur quelques points des parties septentrionale et occidentale de ce massif que les dislocations de l'écorce terrestre ont été assez prononcées pour porter ce terrain à la surface du sol. A la montagne de la Serre seulement, ces dislocations ont mis à découvert les trois étages du trias. Dans le Jura proprement dit, le trias n'est représenté que par le keuper, que l'on ne peut même apercevoir tout entier, puisque le muschelkalk ne se montre nulle part dans les affleurements et n'a pu être atteint par les sondages.

Aux environs de Salins, d'après M. Marcou, le keuper se divise en trois étages, dont les caractères sont : pour l'étage inférieur, des sels gemmes, des marnes salifères, des gypses noirâtres et rouges, des argiles plastiques et du lignite ; pour

l'étage moyen, un grand développement de gypse blanc saccharoïde, de marne gypseuse rouge, et de dolomie; pour l'étage supérieur, absence de gypse et de sel et grand développement de marnes irisées, de grès, de schistes ardoisiers avec *Cypricardia* et de calcaires cloisonnés et fétides, en couches minces.

C'est M. Fournet qui le premier a signalé, d'abord en 1843, puis en 1850, l'existence du trias dans les Alpes; c'est à M. Escher et surtout à M. Favre qu'il faut attribuer l'honneur d'avoir mis hors de doute, par des observations précises, l'existence de ce terrain dans ce pays. « J'ai pris dans les Alpes de la Savoie, dit M. Favre, un certain nombre de coupes parfaitement nettes et bien établies, qui démontrent avec une grande évidence la présence d'un groupe de couches dans lequel on retrouve les caractères des terrains triasiques des autres régions. Le trias, dans les Alpes, est immédiatement placé au dessous de l'infralias et au dessus du terrain houiller. Il peut se décomposer en quatre groupes qui sont de bas en haut: 1° Un grès siliceux que l'on nomme arkose, et dans lequel on voit presque toujours des fragments de quartz rose. Ce grès a beaucoup de rapport avec les roches qui, dans diverses parties de la France, sont classées dans le trias. 2° Une mince couche d'ardoise, qui manque souvent. 3° Un schiste argilo-ferrugineux rouge et vert; il ressemble beaucoup aux marnes irisées, quoiqu'il soit plus dur. 4° Un groupe comprenant du gypse, de l'anhydrite, du sel gemme et des cargneules, comme dans le keuper de la France. »

M. l'abbé Stoppani, dans sa *Paléontologie lombarde*, a montré que, sur les deux versants des Alpes, en Savoie comme en Lombardie, tous les terrains compris entre le lias et le terrain houiller inclusivement, et, par conséquent, le trias lui-même présentent des caractères stratigraphiques, pétro-

graphiques et paléontologiques complétement semblables.

Des grès arkoses, les poudingues rouges à grains de quartz (de Sales), les grès rouges schisteux de Servino, des quarzites, forment, en Lombardie comme en Savoie, un même ensemble à la base du trias; c'est le *bunter sandstein*. — Les schistes ardoisiers du col de la Roue et les calcaires ainsi que les schistes qui les accompagnent en Savoie, correspondent, en Lombardie à la dolomie dite inférieure, au marbre de Varenne et aux schistes à poissons de Perledo; ces divers dépôts représentent le *muschelkalk*. — Les schistes argilo-ferrugineux de la Savoie ont pour termes correspondants, dans la Lombardie, les grès panachés et les calcaires marneux de Gorno et de Dossena et se placent avec eux au niveau des *marnes irisées*. — Enfin, le quatrième groupe du trias alpin est constitué en Lombardie par le calcaire à faune d'Esino et par la dolomie moyenne placée entre ce calcaire et la zone à *Avicula contorta*.

Le trias en Espagne et dans le midi de la France. — D'après M. Élie de Beaumont, le trias, qui s'appuie sur les montagnes des Maures et de l'Estérel, comprendrait seulement deux termes : le *muschelkalk* et le *grès bigarré*. Quant aux *marnes irisées* qu'on y a signalées, elles appartiendraient, avec les gypses qui y sont associés, au muschelkalk dont elles ne sont qu'une modification. Si les marnes irisées ne se montrent pas sur ce point, il est probable, selon nous, qu'elles existent vers le nord, où elles sont cachées par les terrains jurassique et crétacé. Le muschelkalk diffère peu de celui des Vosges; il en contient tous les fossiles, tels que *Encrinus liliiformis, Avicula socialis, Ammonites nodosus*.

« Le trias, dit Dufrénoy, représenté en grande partie par des grès sans solidité dans les environs d'Autun, de Charolles, et

dans les départements de la Nièvre, de l'Allier et de l'Indre, reprend tous les caractères qui lui sont propres sur les pentes méridionales des montagnes anciennes du centre de la France. Le grès bigarré et les marnes irisées sont très développés; presque partout les gypses et les dolomies, si caractéristiques de cette formation, s'y trouvent avec quelque abondance. Un calcaire compacte, gris de fumée, à cassure conchoïde, forme même sur quelques points des couches à la séparation du grès bigarré et des marnes irisées; la place qu'il occupe montre qu'il est le représentant du muschelkalk si développé dans le nord-est de la France. »

D'après M. Dufrénoy, dont l'opinion est généralement adoptée, le trias serait représenté dans les Pyrénées par l'ensemble qui, en 1822, a reçu de Charpentier le nom de terrain de *grès rouge*. « Ce terrain, dit Dufrénoy, est un grès de couleur rouge, schisteux et micacé, entièrement analogue par ses caractères extérieurs avec le grès bigarré. Des marnes de couleurs variées, souvent rouges, mais quelquefois vertes, alternent avec ce grès et complètent l'analogie que nous venons d'indiquer. Du reste, aucun caractère certain ne dévoile son âge; il ne contient pas de gypse, et n'alterne point avec le muschelkalk; enfin, nous n'avons pu y découvrir un seul fossile. Il se montre en masses peu puissantes dans quelques vallées des Pyrénées centrales et occidentales. »

En Espagne, le trias ne se divise pas toujours en trois termes distincts. Tantôt, dit M. de Verneuil, il est réduit à une seule masse très puissante, composée d'argiles et de marnes rouges, panachées, gypsifères, salifères, avec quelques bancs subordonnés de calcaires plus ou moins argileux et magnésiens, comme en Andalousie; tantôt il comprend, à sa base, des grès et des conglomérats d'une épaisseur considérable, à sa partie

moyenne des calcaires, et, vers le haut, des argiles; il ressemble alors au trias du Wurtemberg et c'est ainsi qu'il se montre dans les provinces du centre et de l'est. Ailleurs, d'autres calcaires dolomitiques recouvrent ces argiles, et la série semble être alors composée de quatre termes au lieu de trois. Mais leur distinction ne repose que sur des caractères pétrographiques, les fossiles étant trop rares pour servir utilement à les faire connaître, et le petit nombre des espèces que l'on peut citer provenant pour la plupart des calcaires magnésiens de la partie moyenne de la formation. En Catalogne, le quatrième groupe est fourni par une assise calcaire qu'il nous paraît naturel de placer sur le même niveau que les couches de Saint Cassian, bien qu'il ne nous ait pas fourni de fossiles, pas plus que les trois autres groupes qui le supportent.

Le trias dans le Tyrol et la partie orientale du massif alpin. — Le trias de cette région offre une grande puissance qui, sur certains points, ne peut pas être appréciée à moins de mille mètres. Il repose ordinairement sur les schistes azoïques; quelquefois il en est séparé par des lambeaux de terrain houiller ou par des grès rouges et des poudingues (*verrucano*) que l'on rattache à la série paléozoïque. Il se compose de dépôts très variés au point de vue pétrographique comme sous le raport paléontologique. Ces dépôts sont excessivement découpés et interrompus par mille accidents, et ce n'est qu'après de longues études qu'on a pu les coordoner soit entre eux, soit relativement aux assises correspondantes des autres parties de l'Europe. Le trias de cette région comparé à celui des contrées dont il vient d'être question s'en distingue pétrographiquement par un moindre développement des grès et des conglomérats et par une plus grande abondance des calcaires et surtout des dolo-

mies qui forment, à plusieurs niveaux, des assises d'une grande puissance. Le trias des Alpes orientales possède une faune très riche, n'ayant qu'un très petit nombre d'espèces, telles que *Encrinus moniliformis, Ceratites nodosus,* etc., qui se retrouvent dans les autres contrées de l'Europe. Cette faune établit un passage insensible entre les faunes paléozoïque et mésozoïque; elle comprend des genres caractéristiques de la période paléozoïque, tels que *Cyrtoceras*, *Orthoceras*, *Goniatites*, *Eomphalus* et des genres spéciaux à la période mésozoïque, tels que *Ammonites*, *Belemnites*.

Les strates triasiques des Alpes orientales peuvent se grouper en quatre étages correspondant à ceux que nous venons d'indiquer dans les autres parties de cette chaîne.

Le *premier étage* (*grès bigarré*) est représenté par les *schistes de Werfen;* les gisements de gypse et de sel gemme exploités sur le versant nord-est des Alpes appartiennent à cet étage caractérisé par les fossiles suivants : *Naticella costata*, *Myacites Fassaensis, Ammonites Cassianus, Posidonomya Claræ.*

Le *deuxième étage* (*muschelkalk*) comprend le *calcaire de Guttenstein* et peut-être aussi les *schistes bitumineux de Seefeld.* Ses principaux fossiles sont : *Trigonia pes anseris, Encrinus liliiformis, Lima lineata, Terebratula vulgaris, Ammonites Mandeslohii,* etc.

Le *troisième étage* (*marnes irisées*) est constitué par les *marnes à halobies* et les *schistes à Cardita*. Entre autres fossiles, on y trouve : *Ammonites Johannis-Austriæ, Cardita crenata, Cidaris dorsata, Halobia Lommeli*, *Myophoria Kefersteini*, etc.

Cette série de calcaires qui se superposent aux schistes de Werfen et que les géologues allemands et italiens ont désignés jusqu'à présent sous le nom de *calcaire alpin,* se termine par

les *calcaires de Saint Cassian,* dans le Tyrol méridional, et *de Hallstadt*, dans la haute Autriche, au sud-est de Saltzbourg : ceux-ci constituent un quatrième étage qui contient entre autres fossiles principaux : *Chemnitzia Rosthorni*, *Ammonites tornatus, A. floridus, A. Aon, Pecten discus*, *Turbo depressus,* etc.

Place qui doit être accordée au trias dans la série géologique. — Il est très difficile d'apprécier d'une manière exacte le rôle rempli par le trias dans la série géologique. Le trias et le terrain permien offrent de nombreux points de ressemblance fournis par l'aspect général de leur faune et de leur flore, par les divers phénomènes qui se sont accomplis pendant qu'ils se déposaient, et surtout par leur constitution pétrographique. Aussi serait-on porté à revenir à l'ancienne classification et à réunir ces deux terrains en un même groupe placé entre les groupes trilobitique et jurassique et à peu près de même valeur qu'eux. Mais il faudrait alors ou renoncer à cette division —, si simple, si naturelle et si bien fondée —, des temps géologiques en trois grandes périodes paléozoïque, mésozoïque et néozoïque, ou, ce que peut-être les géologues seront conduits à faire plus tard, placer le trias dans la période paléozoïque.

C'est en tenant compte des mouvements de l'écorce terrestre que j'ai cru devoir, en conservant un usage reçu, rattacher le trias à la période mésozoïque ; c'est, en effet, au moment où ce terrain allait se déposer que la France et quelques unes des régions voisines, d'abord presque complétement émergées, ont été en majeure partie recouvertes par les eaux océaniennes; cet événement d'une haute importance doit être choisi pour marquer la fin d'une période et le commencement de la suivante, tant qu'on ne porte pas sa pensée bien au delà des

frontières de notre pays. Mais, lorsqu'on embrasse l'Europe entière, on voit que cette invasion des eaux, qui ne s'est manifestée en France que vers le commencement de la période triasique, date d'une époque plus ancienne et a commencé à se produire, sur d'autres points du continent européen, dès la fin de la période houillère. Une appréciation plus exacte des faits qui se sont accomplis pendant les temps que nous avons en vue, nous amène à reconnaître que la période du trias, au point de vue des actions dynamiques qui s'exercent sur l'écorce terrestre, est plutôt la fin de la période paléozoïque que le commencement de la période mésozoïque. La similitude que les terrains permien et triasique présentent au point de vue pétrographique est un motif de plus pour engager à rattacher ce dernier terrain à la période paléozoïque. Mais les caractères paléontologiques du trias nous fournissent quelques indications contraires; la faune et la flore de ce terrain ont bien, en effet, conservé quelques unes des formes organiques antérieures, mais, envisagées dans leur ensemble, elles sont plutôt mésozoïques que paléozoïques; la faune marque le commencement du règne des reptiles, tandis que la flore marque le commencement du règne des gymnospermes et la fin du règne des acrogènes. D'après ce qui précède, on conçoit que l'on puisse hésiter lorsqu'on se demande quelle place doit être donnée au trias dans la série des terrains. En le rattachant au terrain secondaire, j'ai voulu surtout donner la préférence à une classification qui s'applique plus spécialement à la France et ne pas me séparer d'une opinion généralement admise. Mais, en adoptant cette manière de voir, il ne faut pas oublier que la période triasique est, sous tous les rapports, une période de transition.

SÉRIE JURASSIQUE.

Dans la série jurassique nous comprenons les strates que les géologues ont toujours réunies sous le nom de *groupe* ou *formation jurassique;* nous y rattachons également le *bone-bed* et quelques autres assises que plusieurs auteurs placent encore dans le trias. La période jurassique correspond exactement à la deuxième des cinq oscillations qui ont été subies par le sol de l'Europe pendant la durée des temps géologiques. Elle a commencé lorsque, après le dépôt du trias, les eaux ont achevé d'envahir la majeure partie de ce continent; elle a fini avec le moment où une impulsion contraire à celle qui avait une seconde fois émergé l'Europe y a ramené les eaux océaniennes.

Le tableau de la page 456 montre la classification que nous avons adoptée pour la série jurassique. Cette série se divise en cinq systèmes qui peuvent se grouper de la manière suivante : la *sous série liasique,* comprenant les SYSTEMES INFRALIASIQUE et LIASIQUE, et la *sous série oolitique,* comprenant les SYSTEMES OOLITIQUES INFERIEUR, MOYEN et SUPERIEUR.

Historique; synonymie : division en systèmes et en étages. — Dans le *Tableau des strates des environs de Bath,* dressé, en 1799, par W. Smith, les assises dénommées par lui appartiennent pour la plupart au terrain jurassique. Ce tableau a été reproduit avec quelques modifications, d'abord en 1812, puis en

1816. En 1822, W. Conybeare et W. Phillips, après avoir tracé une série comprenant à peu près les mêmes termes, y distinguaient, en se laissant guider par des considérations pétrographiques, trois systèmes qu'ils désignaient sous les noms de *upper*, *middle* et *lower oolitic systems*. Le premier système comprenait les couches de Purbeck jusqu'au *kimmeridge clay* (*oaktree clay* de Smith); le second, le *coral rag* (pisolite de Smith) jusqu'à l'*Oxford-clay* (*clunch clay* de Smith); et le troisième, toute la série oolitique, depuis le cornbrash jusqu'au lias inclusivement. Plus tard, Labèche, dans son *Manuel de géologie*, réunissait ces trois systèmes sous la dénomination de *groupe oolitique*. Dans la classification et la nomenclature adoptées en 1855 par le *geological survey*, les trois divisions principales sont limitées de la même manière que l'avaient fait Conybeare et Phillips.

UPPER OOLITE	Purbeck.	Upper. Middle. Lower.
	Portland oolite. . . .	Portland oolite (limestone). Portland sand.
	. . . .	Kimmeridge clay.
MIDDLE OOLITE	Oxford oolite	Coral rag (limestone). Calcareous grit.
	Oxford clay	Oxford clay.
LOWER OOLITE	. . . .	Cornbrash.
	Great oolite.	Forest marble (limestone). Great or Bath oolite (limestone).
	Fuller's earth	Fuller's earth (clay.) Fuller's earth rock (clay and limestone)
	Inferior oolite. . . .	Inferior oolite (limestone). Sand of inferior oolite.
	Lias	Upper lias shale and clay. Marlstone. Lower lias shale and clay. Limestone.

Le nom de terrain jurassique, si usité en France et sur le continent, n'est presque jamais employé par les géologues anglais qui lui préfèrent l'expression de terrain oolitique. Le lias, qui, pour nous, forme un groupe entièrement à part dans le terrain jurassique, avait été jusqu'à présent considéré par eux comme constituant simplement la base du système oolitique inférieur. Ils commencent à accorder à ce terrain une plus grande importance et à voir en lui un quatrième système distinct des trois systèmes oolitiques proprement dits. Dans son tableau des couches fossilifères, sir Lyell va même plus loin, puisqu'il partage le terrain secondaire en quatre groupes disposés de la manière suivante : E, *crétacé;* F, *oolite;* G, *lias;* H, *trias.*

Pendant que le terrain jurassique faisait, en Angleterre, l'objet d'actives recherches, il était à peine étudié en France. En 1795, Humboldt employait l'expression *calcaire du Jura* et considérait ce calcaire comme formant un terme du terrain secondaire de Werner; cette expression était destinée à se transformer plus tard en celle de *calcaire jurassique*, puis de *terrain jurassique*, qu'on a définitivement adoptée de préférence à celle de terrain *ammonéen* proposée, en 1829, par Alex. Brongniart.

« Les premières observations un peu sérieuses qui aient été faites sur le Jura sont dues à Saussure, Deluc, Escher et Ebel. Cependant la géologie de ces montagnes était encore dans le vague le plus complet, lorsque L. de Buch écrivit, en 1803, son mémoire sur les roches du pays de Neuchâtel; malheureusement cet excellent travail resta inédit, et ne contribua que très peu à l'avancement de la géologie dans le Jura. Ce ne fut que quatorze ans après que les premières bases furent posées par Charbaut, dans son mémoire sur les environs de

Lons le Saunier. Ce travail savant, quoique très incomplet, renferme des descriptions assez détaillées sur les terrains des marnes irisées, du lias et de l'oolite inférieure, et donne des indications générales pour l'étude des étages supérieurs, qu'il ne fait qu'effleurer dans une courte description. A la même époque, Mérian publia son mémoire sur la géologie des environs de Bâle. Enfin, au commencement de 1831, parut la notice de M. Thirria sur le terrain jurassique du département de la Haute Saône, travail qui présentait l'étude la plus détaillée qui eût été donnée jusqu'alors sur ce sujet. Les divisions établies par M. Thirria ont été adoptées. Ce mémoire imprima une nouvelle direction aux recherches géologiques et jeta un grand jour sur le terrain jurassique du continent qui, jusqu'à ce moment, était demeuré très imparfaitement connu. Deux ans après, ce savant compléta ses recherches sur la Haute Saône, en publiant la *Statistique géologique* de ce département. Mais le mémoire qui fit faire le plus grand pas à la géologie du Jura est le travail publié, en 1832, par J. Thurmann et intitulé : *Essais sur les soulèvements jurassiques du Porrentruy*. Toutefois, si les travaux de Thurmann avaient fait faire un pas immense à l'orographie jurassique, la géognosie laissait beaucoup à désirer. On en était resté, à très peu de chose près, au mémoire de M. Thirria, lorsque parurent, en 1830-1840-1841, les observations de M. Gressly, sur le Jura Soleurois. » (Marcou.)

Le tableau de la page 424 montre quelle est la classification choisie, en 1841, par les auteurs de la *Carte géologique de la France;* dans cette classification, après avoir partagé le terrain jurassique en deux systèmes, le système liasique et le système oolitique, ils divisent celui-ci en trois autres systèmes et rangent à la base du système inférieur les marnes supérieures

du lias. En adoptant cette dernière disposition, qui n'a pas eu l'assentiment des géologues, ils avaient pour but de placer à la base de chaque système une assise argileuse et de donner à leur classification plus de régularité.

D'Orbigny partageait le terrain jurassique en dix étages dont le lecteur trouvera la désignation à la page 136.

Parmi les classifications qui ont été proposées en Allemagne pour le terrain jurassique, je me bornerai à mentionner celles de Quenstedt et d'Oppel. — Quenstedt partage le terrain jurassique de l'Allemagne en trois grands groupes : 1° le *Jura noir* (*schwarzer Jura*), comprenant le lias ; 2° le *Jura brun* (*brauner Jura*), correspondant à l'oolite inférieure et au terrain oxfordien ; 3° le *Jura blanc* (*weisser Jura*), comprenant le terrain corallien et toute l'oolite supérieure. Quenstedt divise, en outre, l'ensemble de ces trois groupes en dix huit assises qu'il désigne en affectant à chacune d'elles les lettres de l'alphabet grec. — Quant à Oppel, il distingue dans la série jurassique 33 zones dont chacune est caractérisée par un fossile qui lui donne son nom. Bien que l'auteur n'ait publié sa classification qu'après des études comparatives poursuivies en Allemagne, en France et en Angleterre, nous doutons que son travail puisse être d'une grande utilité pratique, à cause des difficultés que présente la détermination de chaque fossile caractéristique et de la tendance qu'ont toutes les espèces à se montrer à des niveaux différents suivant les localités.

Mouvements du sol; mers de la période jurassique. — L'impulsion de haut en bas à laquelle le sol de l'Europe occidentale avait obéi depuis la fin de la période houillère avait atteint son dernier terme après le dépôt de l'infralias. Alors les eaux océaniennes envahirent une partie de l'espace compris entre

le plateau central et le massif breton; une communication se trouva ainsi établie entre la mer qui recouvrait le nord de la France et celle qui occupait le sud-ouest de ce pays. Pendant la période liasique, la France et les régions voisines avaient déjà presque la même configuration que de nos jours. Tous les massifs montagneux de l'époque actuelle, à l'exception des Alpes, existaient déjà sous forme d'îles autour desquelles l'océan circulait librement. Ces îles étaient celles que j'ai déjà mentionnées en parlant de la période triasique (*antè*, page 502); mais le plateau central, ainsi que je viens de le dire, n'était plus soudé au massif breton, et le massif vosgien s'était accru de toute une zone de terrain triasique. Immédiatement après la période liasique, le sol a repris son mouvement ascendant; la mer s'est retirée peu à peu, et les îles qu'elle baignait ont augmenté d'étendue et ont fini par se souder les unes aux autres; en même temps s'est opéré l'émergement définitif du massif alpin. Une dernière impulsion du mouvement oscillatoire a eu pour résultat le retrait complet de la mer jurassique, la formation d'un vaste continent et l'apparition de lacs sur presque tous les points que les eaux marines avaient occupés en dernier lieu. C'est alors que se sont montrés pour la première fois des lacs semblables à ceux de l'époque actuelle soit par leur configuration, soit par leurs habitants (1).

Afin de donner une idée générale du mode de répartition des mers pendant la période jurassique, faisons abstraction des divers changements que leurs rivages ont subis par suite de déplacements locaux ou de l'exhaussement permanent du sol pendant cette période; indiquons en même temps sur une carte

(1) Les espèces les plus anciennes appartenant aux genres essentiellement lacustres *Physa* et *Planorbis* ont été rencontrées dans l'infralias du Hanovre et dans les couches de Purbeck, en Angleterre.

de l'Europe les régions que ces mers ont occupées, soit d'une manière constante, soit par intervalles. Nous verrons les eaux océaniennes recouvrir presque tout le centre et le sud du continent européen et former un vaste bassin ouvert du côté du sud, mais complétement fermé du côté du nord par un continent résultant de la soudure du massif breton, de l'Angleterre, de l'Ecosse, de la Scandinavie et de la partie occidentale et centrale de la Russie. Au milieu de ce bassin surgissaient plusieurs îles dont les principales étaient : les Pyrénées orientales réunies à la Catalogne, les montagnes des Maures et de l'Estérel se prolongeant jusque vers la Corse, le plateau central, le massif alpin, et la région centrale et montagneuse de l'Allemagne, augmentée de l'Ardenne et des Vosges. Toutes ces îles existaient presque dès le commencement de la période jurassique, à l'exception du massif alpin dont le premier émergement ne date que du commencement de la période oolitique inférieure. Ce n'est qu'après le dépôt de l'infralias que le plateau central s'est séparé du massif breton. L'île placée au centre de l'Allemagne paraît avoir été scindée en deux parties jusqu'à la fin de la période liasique au moyen d'un détroit qui faisait communiquer la mer jurassique du Hanovre avec celle de la Bavière et du Wurtemberg (1). Presque toute l'Espagne et l'Italie étaient immergées.

(1) La communication de la mer jurassique du nord de l'Allemagne avec celle du sud paraît être encore très énigmatique. Peut être avait-elle lieu le long des roches triasiques par Gottingue, Eisenach, Gotha, Cobourg et Cassel, comme le feraient présumer certaines traces des étages inférieurs identiques de part et d'autre et qui seraient les témoins de l'ancienne extension des dépôts. La comparaison des groupes jurassiques moyen et supérieur du sud et du nord prouve au moins que les deux mers, si elles ont été en relation pendant la période du lias, ont cessé de l'être ensuite. (D'Archiac.)

Vers le nord-est de la Russie se développait une autre mer qui était fermée vers le sud et qui s'ouvrait vers le nord, contrairement à ce que nous avons constaté pour la mer du centre de l'Europe. Cette différence a réagi sur la température de la mer du nord-est de la Russie, sur la nature des animaux qui l'habitaient et sur l'aspect des dépôts qu'elle a reçus. Cette mer ne s'est montrée qu'avec la période kellovienne et a disparu après le dépôt du terrain corallien.

La mer de la période jurassique paraît avoir atteint sa plus grande profondeur dans le bassin jurassien. « Si nous partons de la chaîne du Jura et de ses ramifications à l'est et à l'ouest, nous pouvons la considérer comme occupant la zone du plus grand développement normal des dépôts de cette période. Nous voyons ceux-ci diminuer d'importance et se simplifier à mesure que nous avançons vers l'est, de manière à ne plus être représentés sur les frontières de l'Europe et de l'Asie que par un seul des termes de la série. Il est également remarquable qu'il en est de même à l'ouest, au delà de l'Atlantique, comme, au sud, au delà de la Méditerranée et même sur ses bords. On a donc eu toute raison de choisir l'expression de *formation jurassique.* » (D'Archiac.)

Distribution générale du terrain jurassique. — Nous ferons d'abord observer que ce terrain n'existe pas sur les parties du sol qui étaient émergées lorsqu'il se déposait et qui formaient alors des îles et des continents. Partout ailleurs l'existence du terrain jurassique doit être admise, mais dans beaucoup de contrées il est recouvert par les formations plus récentes, et surtout par le terrain crétacé. L'examen de la distribution générale du terrain jurassique donne lieu à des considérations dignes d'intérêt que M. Elie de Beaumont résume ainsi :

« La disposition presque circulaire que Guettard avait déjà signalée dans les bandes de terrain de la partie septentrionale de la France, n'est qu'une partie d'une disposition encore plus générale, qui permet de résumer, dans un énoncé très abrégé, la structure géologique de ce pays. Si l'on examine la distribution des couleurs sur la carte géologique de la France, on voit que la couleur bleue, qui représente le terrain jurassique, est celle qui y constitue les bandes les plus continues. Ce terrain forme une large écharpe qui traverse obliquement la partie centrale de la carte, des environs de Poitiers aux environs de Metz et de Longwy. Cette écharpe se recourbe, d'une part, vers le haut, du côté de Mézières, et, de l'autre, vers le bas, du côté de Cahors et de Milhau; mais en même temps, il s'en détache deux branches, dont l'une se dirige sur Alençon et Caen, tandis que l'autre suit d'abord la Saône et ensuite le Rhône depuis Lyon jusqu'au delà de Privas, et tourne autour des Cévennes, pour aller rejoindre la première branche dans le département de l'Aveyron. Ce que ces bandes présentent de plus remarquable, c'est qu'en faisant abstraction des appendices qu'elles projettent dans différentes directions, on les voit former deux espèces de boucles, qui dessinent sur la surface de la France la figure d'un x placé sur le côté; et même, si l'on observe que la boucle inférieure est presque fermée et ne présente que des lacunes apparentes, dues à des dépôts superficiels qui cachent le terrain jurassique, on pourra comparer la disposition de ces bandes à la forme générale d'un 8 ouvert par en haut. La différence la plus essentielle des deux boucles opposées de notre 8 est que la boucle méridionale recouvre et que la bande septentrionale supporte les masses minérales qui occupent l'espace qu'elle entoure. L'une, moins élevée que l'espace qu'elle entoure, est formée par des couches qui s'ap-

puient sur le bord du massif granitique qui leur sert de centre, et, en quelque sorte, de noyau; l'autre, plus élevée que le bassin de Paris qu'elle entoure, est formée de couches à peu près concentriques, comparables à une série de vases semblables entre eux qu'on fait entrer l'un dans l'autre; elles disparaissent sous un remplissage central auquel elles servent de support, de bassin ou de récipient. »

Pour se représenter d'une manière exacte l'ordre qui préside à la distribution des strates jurassiques en Europe, il suffit de bien se rendre compte du mode dont s'est opéré le mouvement d'intumescence pendant que ces strates se déposaient. Diverses circonstances, telles que la nature des fossiles, démontrent que les mers jurassiques n'avaient guère plus de 200 mètres de profondeur, mais, comme les dépôts jurassiques atteignent quelquefois jusqu'à 1,500 mètres de puissance, il faut en conclure que le sol des régions recouvertes par les eaux obéissait à une impulsion de haut en bas. Cette impulsion avait pour conséquence de maintenir à la même profondeur le sol sous marin qui, sans cela, aurait tendu à s'exhausser par voie de comblement. Les îles et les continents subissaient, au contraire, une impulsion de bas en haut. Il en résultait un mouvement de bascule qui s'effectuait autour des rivages faisant fonction de charnière. Mais le mouvement d'intumescence avait aussi pour effet de déterminer le déplacement de ces rivages qui se rapprochaient de plus en plus du centre de chaque bassin. La mer, chaque fois qu'elle se retirait, laissait à découvert derrière elle une zone destinée à accroître la surface émergée. C'est pour cela que les terrains correspondant à diverses zones d'émergement se coordonnent par raport aux massifs montagneux, se placent en retrait les uns par rapport aux autres, et se disposent par ordre d'an-

cienneté, les plus anciens étant les plus rapprochés des massifs montagneux. Ces zones forment des courbes fermées et dessinent des lignes concentriques par rapport aux centres de soulèvement pour les étages inférieurs et par rapport aux centres des bassins pour les étages supérieurs. Lorsque les mouvements qui viennent d'être signalés se sont effectués avec régularité, les zones correspondant aux divers étages de la série jurassique sont disposées dans l'ordre indiqué ; c'est ce que l'on constate en Angleterre et, en France, sur le bord oriental du bassin parisien. Mais lorsque les parties voisines du littoral, au lieu de se soulever, se sont affaissées, la mer a recouvert les dépôts qui venaient de se constituer ; ceux-ci se cachent alors sous les dépôts postérieurs et la zone à laquelle ils correspondent se trouve interrompue. C'est pour cela, par exemple, que les assises liasiques disparaissent en majeure partie sur les bords méridional et occidental du bassin parisien. Mais ces exceptions, dont nous constatons la cause, n'infirment pas le fait général qui nous permet de comprendre le mode de distribution du terrain jurrassique considéré dans son ensemble comme dans chacun de ses étages.

Pétrographie, allure, puissance du terrain jurassique. — Le terrain jurassique, étudié dans sa constitution pétrographique, a pour caractères essentiels la rareté des roches détritiques et l'abondance des calcaires, qui se montrent tantôt seuls, tantôt alternant avec des marnes ou des argiles. Dans le terrain jurassique, on ne rencontre pour ainsi dire jamais de roches conglomérées ; les roches gréseuses, si ce n'est dans le nord-est de la Russie, n'y apparaissent qu'à de rares intervalles. Les agents de dénudation superficielle ne charriaient dans les mers de la période jurassique que des matières argileuses

qui, en se mélangeant avec le carbonate de chaux amené par les sources pétrogéniques, se transformaient ordinairement en marnes. L'action geysérienne, déjà moins énergique que pendant les périodes précédentes, n'apportait à la surface du globe que très peu de sel gemme, de gypse et de substances métalliques; mais elle fournissait à l'action sédimentaire une quantité considérable de carbonate de chaux que nous retrouvons dans les nombreuses et puissantes couches calcaires dont se compose la série jurassique. L'action geysérienne fournissait, en outre, du carbonate de magnésie, du fer sous divers états et de la silice. Le carbonate de magnésie, en se combinant avec le carbonate de chaux, donnait naissance à ces énormes massifs de dolomie qui existent dans les Alpes, dans le midi de la France et en Algérie, et qui impriment au terrain jurassique de ces régions un aspect particulier. Les sources ferrugineuses, en jaillissant à des intervalles qui variaient pour chaque localité, déterminaient la formation de bancs assez riches pour être exploités. D'autres sources apportaient la silice que l'on retrouve dans certains bancs calcaires sous forme de rognons, de charveyrons ou de chailles.

Les couches alternantes de marnes et de calcaires sont très irrégulières sous le rapport de leur épaisseur relative. Les marnes dominent dans le lias et l'oolite moyenne; elles constituent dans chacun de ces terrains deux masses très puissantes qui persistent sur de grandes étendues en conservant leurs caractères pétrographiques. Les calcaires forment, au contraire, l'élément essentiel des terrains oolitique inférieur et supérieur. Ces alternances impriment un cachet particulier au paysage des contrées jurassiques et jouent un rôle important dans le système hydrographique souterrain et superficiel (voir livre IX).

Lorsqu'on étudie la répartition chronologique des systèmes de soulèvement (tome II, page 395), on voit que, lors de la période jurassique, les actions dynamiques qui déterminent les dislocations du sol et le soulèvement des chaînes de montagnes, ont subi, comme l'action geysérienne, une sorte de ralentissement; ce repos relatif des forces souterraines a contribué sans doute avec le climat à rendre très faible la proportion d'éléments détritiques entrant dans la composition du terrain jurassique. On est conduit à reconnaître que le mouvement orogénique a cessé pour ainsi dire de se manifester pendant la période jurassique, lorsque l'on voit les divers terrains correspondant à cette période se montrer partout en stratification concordante. Ces terrains ne sont séparés les uns des autres que par des discordances d'isolement, résultat naturel des mouvements ondulatoire et d'intumescence qui ne sont pas restés inactifs comme le mouvement orogénique.

Le terrain jurassique doit atteindre son maximum d'épaisseur au milieu de chaque bassin, aux environs de Paris et dans le haut Jura, par exemple, où il possède une puissance qui ne peut pas être évaluée à moins de 1,200 mètres. Cette épaisseur va en diminuant à mesure que l'on s'éloigne du centre de chaque bassin pour se rapprocher de ses bords. Cet amincissement tient à plusieurs circonstances. Par suite de la manière dont le mouvement d'intumescence a opéré pendant la période jurassique (*antè*, page 581), la série des étages correspondant à cette période est d'autant moins complète que le point où l'on se trouve est plus éloigné du centre de chaque bassin. Remarquons, en outre, que, près des bords, les eaux étant moins profondes et les émergements temporaires plus fréquents, il en résultait que les dépôts qui s'y constituaient étaient moins épais, plus faciles à être détruits et moins nom-

breux que dans la partie centrale de chaque bassin, où l'action sédimentaire ne se trouvait jamais suspendue.

Flore, faune et climat de la période jurassique. — Pendant la période jurassique, l'Europe et, sans doute aussi, le globe tout entier, avaient une constitution topographique insulaire. Les continents étaient peu étendus et peu élevés. Par suite du voisinage de la mer, une certaine humidité favorable à la végétation était entretenue dans l'atmosphère, ainsi que cela s'observe en Egypte; mais la rareté des roches détritiques dans les terrains correspondant à la période jurassique, ainsi que l'absence de cordons littoraux sur les rivages des mers de cette période (tome I, page 560) démontrent qu'il ne se produisait jamais, à la suite d'une fonte des neiges ou de pluies abondantes, des courants entraînant vers la mer des débris de roches arrachés aux îles et aux continents; on peut conclure de là que le climat de la période jurassique était sec. Le mode de répartition des êtres organisés et, notamment, l'existence de bancs de coraux en Angleterre et dans les régions placées sous la même latitude (*antè*, page 114), indiquent assez que, pendant cette période, la température était très élevée.

Les considérations précédentes s'appliquent surtout au centre et au midi de l'Europe; le climat était moins sec et moins chaud dans la région qui entourait la mer du nord-est de la Russie, si l'on en juge soit par la constitution pétrographique des dépôts que cette mer a reçus, soit par la nature des débris de corps organisés que ces dépôts renferment. Dans toute l'étendue comprise entre l'Oural à l'est, la mer glaciale au nord, la Laponie et la Finlande à l'ouest et le massif granitique du Dniéper au sud, les couches du terrain jurassique sont toujours sableuses ou argileuses; le calcaire n'y est qu'un

accident. Malgré l'abondance des fossiles sur quelques points, les polypiers, les radiaires, les échinides, les stellérides et les crinoïdes y sont excessivement rares. Les différences climatologiques existant entre la mer du centre de l'Europe et la mer du nord-est de la Russie résultaient sans doute de ce que celle-ci s'ouvrait vers le nord et recevait les courants froids venant des régions circumpolaires, tandis que l'autre, ouverte vers le sud, recevait des courants venant des régions équatoriales, ainsi que le *Gulf-Strean* de la période jurassique.

J'ai déjà indiqué les principaux caractères de la faune jurassique étudiée dans son ensemble (*antè*, pages 311 et 314). Le lecteur trouvera de nouveaux détails relatifs à ce sujet lorsqu'il sera question de la faune correspondant à chaque système de la série jurassique. Lorsque l'on compare la faune jurassique à la faune actuelle, on voit qu'elle devait présenter beaucoup d'uniformité. En effet, tandis que la plupart des types de la période jurassique existent encore de nos jours, un grand nombre des groupes de la faune actuelle, et précisement ceux qui impriment au tableau de la vie animale le plus de variété, n'étaient pas ou étaient à peine représentés pendant la période jurassique; je citerai, comme exemples, les mammifères, les oiseaux, les ophidiens et les batraciens, parmi les vertébrés, et, parmi les invertébrés, les insectes vivant du suc des fleurs. J'insisterai encore sur deux caractères essentiels de la faune jurassique : l'abondance des ammonites et des bélemnites et le grand développement pris par la faune des reptiles. Ainsi que je l'ai déjà dit, ceux-ci étaient très nombreux en individus et en espèces; leur grande variété d'organisation faisait qu'ils avaient des représentants dans tous les milieux où la vie peut se manifester; enfin, quelques uns étaient remarquables par la grande taille qu'ils atteignaient; tandis que les monitors,

qui sont aujourd'hui les plus grands reptiles, arrivent à peine à la taille de six pieds, le mégalosaure avait 40 pieds de longueur et le pélorosaure 70.

La flore avait pour caractères essentiels : l'absence des dicotylédonées angiospermes et des végétaux à fleurs très apparentes et colorées d'une manière plus ou moins vive; — la rareté des monocotylédonées ; — l'abondance des dicotylédonées gymnospermes, représentées par deux familles : les cycadées et les conifères; — la persistance des fougères, qui continuaient à croître partout nombreuses en espèces et en individus. Le tapis végétal qui, pendant la période jurassique recouvrait le sol, devait présenter une grande uniformité ; il en était de même pour le paysage qui n'offrait pas la variété que l'on constate de nos jours.

IX. — SYSTÈME INFRALIASIQUE.

Historique ; synonymie ; division en étages. — Le nom d'*infralias* a été introduit dans la science, en 1838, par M. Leymerie pour désigner le *choin-bâtard* des environs de Lyon, ainsi que les assises qui lui sont subordonnées dans ce pays et ses équivalents dans diverses contrées. Depuis lors, ce mot a reçu une plus grande extension ; un grand nombre de géologues s'en servent pour désigner l'ensemble des strates comprises entre les marnes irisées et le calcaire à gryphées : c'est dans ce sens que nous l'emploierons.

L'infralias se divise en deux étages :

I. — Etage *rhétien*, ainsi nommé parce qu'il est très développé dans les Alpes Rhétiques. Cet étage comprend le *bone-bed*; le *white lias* ou *lias blanc* de l'Angleterre; le *grès infra-*

liasique de diverses contrées; l'*arkose infraliasique* de Bourgogne, J. Martin; la partie inférieure du *quatrième étage* du lias, d'Archiac; la partie inférieure des *couches de Kossen;* le *grès de Kédange* (Moselle); les *couches de jonction,* Oppel; la *zone à Avicula contorta;* la *zone à Bactryllium.*

II. — Etage *hettangien,* (Hettange, village de la Moselle, où se trouve le grès de ce nom). Cet étage comprend : le *choin-bâtard* de Lyon; le *calcaire de Valognes* et *d'Osmanville*, en Normandie; le *grès* d'*Hettange* et du *Luxembourg;* la *lumachelle* et le *calcaire foie de veau* de la Côte d'Or, J. Martin; la partie supérieure des *couches de Kossen,* et du *quatrième étage* du lias d'Archiac; les *zones à Ammonites Burgundiæ, A. Moreanus*, *A. planorbis, A. angulatus, A. psilonotus* de divers auteurs.

Lorsqu'on tient compte de la manière insensible dont le trias passe à l'infralias, on conçoit que la question des relations existant entre ces deux terrains ait donné lieu à une vive controverse. Le trias et l'infralias se montrent presque constamment en stratification concordante, bien qu'entre les époques qui leur correspondent, deux systèmes importants, ceux du Mont Seny et du Thuringerwald, aient surgi en Europe. Vers leur point de contact, ces deux terrains sont souvent composés des mêmes roches, et renferment un assez grand nombre de fossiles communs. Lorsqu'on est parvenu avec peine à tracer les deux lignes qui limitent, en haut et en bas, l'étage rhétien, il reste à rechercher à laquelle des deux séries triasique ou liasique ce nouvel étage doit être rattaché. M. Leymerie, en employant l'expression d'infralias, pensait que les assises dont on devait faire plus tard l'étage rhétien, appartenaient à la partie supérieure du trias. Cette opinion était jadis assez généralemement adoptée; mais les géologues

qui la partagent semblent devenir de moins en moins nombreux, et l'on peut prévoir le moment où l'on s'accordera à voir dans l'étage rhétien le premier terme de la série jurassique.

Distribution et pétrographie de l'infralias. — Ce que nous avons dit relativement au mode de répartition du terrain triasique en Europe s'applique également à l'infralias. Les mers où ces deux terrains se sont déposés avaient presque les mêmes rivages; après le dépôt de l'infralias, les phénonènes, qui s'étaient manifestés vers la fin de la période triasique, se sont reproduits dans les mêmes contrées et dans les mêmes conditions : aussi les régions où le trias se montre à l'observation sont également celles où l'infralias apparaît. En d'autres termes, ces deux terrains offrent presque le même mode de distribution géographique.

L'infralias présente une constitution pétrographique très variée; des arkoses, des grès quartzeux, calcarifères ou psammitiques, des argiles, des marnes schistoïdes, des calcaires et des dolomies entrent dans sa composition. Les grès dominent en Allemagne où ils sont plus ou moins psammitiques, dans le nord-est de la France où ils forment quelquefois des assises assez puissantes, et autour du plateau central où ils prennent fréquemment le caractère de macigno ou d'arkose. Lorsque l'infralias est réduit à sa plus grande simplicité, on le voit ordinairement formé d'une mince assise de grès que les auteurs distinguent par l'épithète d'infraliasique. Les calcaires sont surtout répandus dans l'infralias de l'Angleterre et de la région des Alpes; c'est dans la partie orientale de cette dernière région et sur le versant sud-est du plateau central que se montrent les dolomies infraliasiques. Les roches d'origine détritique et les calcaires entrent pour une part à peu près égale

dans la composition de l'infralias; ce qui permet de dire que ce terrain, au point de vue pétrographique, sert de passage entre les terrains triasique et jurassique. Remarquons, en outre, que, dans le centre de l'Europe, l'infralias est fréquemment imprégné de galène et de diverses substances métalliques, dernier produit de l'action geysérienne qui s'était manifestée avec tant d'énergie pendant les périodes antérieures à la période infraliasique.

L'épaisseur de l'infralias est loin d'être uniforme; elle varie depuis un jusqu'à quatre vingt mètres. Ce terrain acquiert sa plus grande puissance dans le massif alpin; dans le Tyrol, il a jusqu'à 600 mètres d'épaisseur. Les recherches multipliées dont l'infralias a été l'objet pendant ces dernières années ont démontré qu'il se rencontre dans un grand nombre de contrées et qu'il est très étendu dans le sens horizontal.

Bone-bed; faune infraliasique. — Au dessus des marnes irisées, on observe en Angleterre, dans le nord-est de la France, et en Allemagne, un banc qui a reçu, du grand nombre de débris dont il est quelquefois pétri, le nom de lit à ossements ou de *bone-bed.* Ce lit n'a que quelques centimètres d'épaisseur, mais il se montre sans solution de continuité sur de grandes étendues. Il existe dans le sud-ouest de l'Angleterre, dans le nord-est de la France, le nord de la Suisse et en Allemagne. Il est presque exclusivement formé d'écailles, de dents, d'os et de coprolites de poissons; à ces débris se trouvent mêlés des restes de sauriens et notamment d'ichthyosaures. Quelquefois, les débris organiques sont rares et le *bone-bed* est alors remplacé par un grès blanc micacé. Un grand nombre des espèces dont proviennent les débris du *bone-bed* se retrouvent dans le muschellkalk de l'Allemagne, ce

qui a fait donner à ce lit à ossements le nom d'ossuaire du trias. Parmi ces espèces je citerai les *Saurichthys apicalis*, *Hybodus plicatilis*, *H. cloacinus*, *Gyrolepis tenuistriatus*, etc.

La faune de l'infralias, étudiée depuis peu de temps et, par conséquent, encore peu connue, ne présente pas de caractères bien saillants. Les fossiles caractéristiques de ce terrain sont : *Nautilus striatus*, *Ammonites Burgundiæ*, *A. angulatus*, *A. planorbis*, *Belemnites infraliasicus*, *Anatina præcursor*, *Avicula contorta*, *A. gregarea*, *Cardinia concinna*, *Megalodon triqueter*, *Cardium rhæticum*, *C. cloacinum*, *Mytilus minutus*, *Pecten valoniensis*, *P. lugdunensis*, *Lima hettangiensis*, *Terebratula gregarea*, *Spirifer Munsteri*.

L'infralias en Angleterre; le white lias.— En Angleterre, l'infralias s'observe le long d'une zone qui se développe d'Axmouth à Worcester, à travers les comtés de Devon, de Somerset, de Gloucester et de Worcester. Sur la rive droite de la Severn, aux environs de Gloucester, une falaise très escarpée, appelée *Wainlode Cliff*, montre une série qui a 12 mètres d'épaisseur et qui est formée d'argiles feuilletées alternant avec des lits minces de calcaire; cette série appartient à l'infralias. Les fossiles dominants sont la *Modiola minima* et l'*Ammonites planorbis*. Parmi les assises qui font partie de cette série se trouvent: 1° un calcaire à insectes (*Insect limestone*), ainsi nommé à cause des débris de coléoptères, etc., qu'il renferme; 2° un calcaire lacustre, avec valves de cypris, et débris de plantes, de *Cyclas* et d'*Unio*, ce qui permet de penser que, lors de l'époque infraliasique, un estuaire existait sur ce point.

C'est sans doute un des bancs de la série de *Wainlode Cliff* qui change d'aspect à une certaine distance et devient le *lias blanc*, *white lias*, des Anglais. On donne ce dernier nom à

une assise qui s'observe aux environs de Bath et qui montre, sur une épaisseur de trois mètres, une vingtaine de lits alternants d'argile et de calcaire argileux, compacte, blanc jaunâtre. Le lias blanc est toujours au dessus du *bone-bed*.

L'infralias dans la Côte d'Or; arkose, lumachelle, foie de veau. — D'après M. J. Martin, toutes les assises liasiques, déposées avant l'apparition de la gryphée arquée se divisent, dans le département de la Côte d'Or, en trois groupes principaux, savoir l'*arkose* (qu'il nous paraît utile de distinguer par l'épithète d'*infraliasique*, afin de ne pas la confondre avec les autres arkoses appartenant à divers niveaux de la série géologique), la *lumachelle* et le calcaire *foie de veau*.

Le groupe de l'*arkose* est l'ensemble des strates gréseuses, arkosiennes ou marneuses comprises entre les marnes irisées et les lumachelles; il renferme tout ce qui, au dessus du trias, est arkose dans l'acception minéralogique du mot. Il est souvent difficile d'établir une ligne de démarcation entre l'arkose et le trias.

L'arkose avait été regardée jusque dans ces derniers temps comme dépourvue de débris de corps organisés; aujourd'hui on y a recueilli un assez grand nombre de fossiles, tels que *Anatina præcursor*, *Cypricardia suevica*, *Myophoria inflata*, *M. multiradiata*, *Cardium rhæticum*, *C. cloacinum*, *Mytilus minutus*, spéciaux au groupe de l'arkose; *Cerithium semele*, *Pecten valoniensis*, qui passent dans les deux groupes suivants, *Avicula contorta*, qui date du trias et arrive jusqu'à la lumachelle. Certains grès du groupe de l'arkose renferment des débris de poisson et représentent le *bone-bed*.

Le groupe de la *lumachelle* forme un certain nombre de lits peu épais, généralement argilo-calcaires, quelquefois gréseux, séparés entre eux par des marnes qui, par la bigar-

rure de leurs teintes, rappellent souvent les marnes irisées. Les innombrables coquilles dont la lumachelle est pétrie la rendent facile à distinguer des autres assises. C'est dans ce groupe que se rencontre le minerai de fer exploité dans les arrondissements de Beaune et de Semur. Le groupe de la lumachelle atteint rarement plus de 2 ou 3 mètres d'épaisseur. Parmi les fossiles qui lui sont spéciaux se trouve l'*Ammonites Burgundiæ*; mais la plupart de ceux qu'elle renferme, tels que *Cardinia concinna*, *Pecten valoniensis*, *Ostrea irregularis*, etc., passent dans les assises supérieures.

Le groupe du *foie de veau*, ou zone de l'*Ammonites Moreanus*, constitue un dépôt argilo-calcaire, épais de 2 à 3 mètres au maximum, et extraordinairement riche en fossiles, les uns spéciaux à cette zone, les autres passant dans le calcaire à gryphées. Nous citerons parmi les premiers, *Ammonites Moreanus*, *Littorina clathrata*, *Cardinia insignis*, *Mytilus scalprum*, et parmi les seconds, *Nautilus striatus*. *Ammonites planorbis*, *Cardinia concinna*, *Pecten valoniensis*.

L'infralias dans les autres contrées de la France. — Les trois assises de l'infralias de la Côte d'Or persistent tout autour du Morvan, mais, à mesure que l'on s'éloigne des montagnes granitiques, l'arkose perd son feldspath et finit par céder la place à un grès passant soit au macigno, soit au psammite. Au dessus de l'arkose, on observe une lumachelle argileuse ou siliceuse, avec marnes noires et rognons de calcaire argileux, puis un calcaire argileux, exploité pour la chaux hydraulique. Si l'on se dirige vers l'ouest, en suivant la ceinture du bassin jurassique de Paris, on retrouve l'infralias dans la Nièvre, dans l'Allier où les roches dont il se compose se pénètrent de carbonate de magnésie, dans l'Indre, où il présente, sur une épaisseur de 70

mètres, des alternances de calcaires argileux, de marnes et de quelques grès, dans la Vienne, où il est formé de dolomies avec silex noirs. Ici, l'infralias subit, comme le trias, une interruption pour ne reparaître que dans la Manche, où il comprend le calcaire de Valognes, et dans le Calvados, où il est constitué par le calcaire d'Osmanville.

Dans le Doubs, la Haute Marne et les Vosges, l'infralias paraît n'être représenté que par un grès quartzeux grisâtre; mais, en se dirigeant vers le nord, il augmente rapidement d'importance. Il se compose de grès dont l'aspect varie beaucoup et qui sont accompagnés de marnes et de calcaires. C'est à l'infralias qu'appartiennent le grès exploité à Héttange, près de Thionville, et celui sur lequel est bâti Luxembourg.

L'infralias des environs de Lyon comme celui de la Côte d'Or, se compose de trois assises qui sont de bas en haut: 1° des grès quartzeux, formant une masse de 20 mètres d'épaisseur et accompagnés de calcaires magnésiens, rougeâtres ou jaunâtres; 2° une assise de six mètres d'épaisseur, comprenant un calcaire compacte, un peu marneux (*choin-bâtard*), recouvert de calcaire lumachellique; 3° une assise de 5 mètres de puissance, formée par un calcaire quartzifère, un peu cristallin, jaunâtre, avec *Pecten lugdunensis*. — Dans le département du Gard, la première assise de l'infralias est formée par un grès immédiatement superposé aux marnes irisées; la seconde par des marnes avec fossiles nombreux, mais peu déterminables, et par des calcaires compactes, gris de fumée, avec *Pecten lugdunensis?* *P. valoniensis? Ammonites torus*; la troisième, par des dolomies grisâtres ou blanc jaunâtre, sans fossiles, en couches régulières et constituant un ensemble qui a 100 mètres de puissance. — L'infralias se retrouve dans les départements de l'Aveyron et du Lot, mais, au delà, lorsque l'on suit le bord du plateau cen-

rure de leurs teintes, rappellent souvent les marnes irisées. Les innombrables coquilles dont la lumachelle est pétrie la rendent facile à distinguer des autres assises. C'est dans ce groupe que se rencontre le minerai de fer exploité dans les arrondissements de Beaune et de Semur. Le groupe de la lumachelle atteint rarement plus de 2 ou 3 mètres d'épaisseur. Parmi les fossiles qui lui sont spéciaux se trouve l'*Ammonites Burgundiæ*; mais la plupart de ceux qu'elle renferme, tels que *Cardinia concinna*, *Pecten valoniensis*, *Ostrea irregularis*, etc., passent dans les assises supérieures.

Le groupe du *foie de veau*, ou zone de l'*Ammonites Moreanus*, constitue un dépôt argilo-calcaire, épais de 2 à 3 mètres au maximum, et extraordinairement riche en fossiles, les uns spéciaux à cette zone, les autres passant dans le calcaire à gryphées. Nous citerons parmi les premiers, *Ammonites Moreanus*, *Littorina clathrata*, *Cardinia insignis*, *Mytilus scalprum*, et parmi les seconds, *Nautilus striatus*. *Ammonites planorbis*, *Cardinia concinna*, *Pecten valoniensis*.

L'infralias dans les autres contrées de la France. — Les trois assises de l'infralias de la Côte d'Or persistent tout autour du Morvan, mais, à mesure que l'on s'éloigne des montagnes granitiques, l'arkose perd son feldspath et finit par céder la place à un grès passant soit au macigno, soit au psammite. Au dessus de l'arkose, on observe une lumachelle argileuse ou siliceuse, avec marnes noires et rognons de calcaire argileux, puis un calcaire argileux, exploité pour la chaux hydraulique. Si l'on se dirige vers l'ouest, en suivant la ceinture du bassin jurassique de Paris, on retrouve l'infralias dans la Nièvre, dans l'Allier où les roches dont il se compose se pénètrent de carbonate de magnésie, dans l'Indre, où il présente, sur une épaisseur de 70

siles se bornent à quelques bivalves indéterminés. Cette assise atteint par places une puissance de 30 mètres. 2° Une *assise moyenne*, épaisse de 4 à 10 mètres et qui se compose de grès, de sables jaunes, d'argiles gris bleu, de calcaire argilo-sableux, mêlés à des conglomérats coquilliers. Les fossiles, généralement à l'état spathique, sont nombreux : parmi les principales espèces se trouvent : *Ammonites angulatus*, *A. psilonotus*, *Cardinia Listeri*, *Plagiostoma duplicata*, *P. Hermanni*, *Pecten glaber*, *Pinna Hartmanni*, *Ostrea lamellosa*. M. Dunker a trouvé à Spertingsberg, près d'Halberstadt, une faune et une flore très riches, comprenant des planorbes, des paludines, des ampullaires, des néritines, des ammonites, des fougères et des cycadées. 3° Une *assise supérieure*, consistant en une argile gris bleu, avec géodes ferrugineuses, sans fossiles, alternant vers le haut avec des sables jaunes et blancs.

L'infralias dans le massif alpin. — Comme le trias (*antè*, page 563), l'infralias présente sur les deux versants des Alpes les mêmes caractères. De part et d'autre, l'infralias se divise en deux étages ; un étage inférieur ou à *Avicula contorta* et un étage supérieur ou à faune hettangienne. — L'étage inférieur comprend deux assises : l'assise schisto-argileuse ou à *Bactryllium* et l'assise calcaréo-marneuse à *Terebratula gregarea*. Il y a une extrême ressemblance entre les schistes noirs qui, en Savoie, se placent à la base de l'infralias, et ceux qui se trouvent au même niveau en Lombardie, où ils sont caractérisés par le *Bactryllium striolatum*. Les lumachelles compactes, qui, en Lombardie, complètent l'assise schisto-argileuse, sont les mêmes que celles qui sont pétries d'acéphales sur le versant nord-ouest des Alpes. Le calcaire à *Terebratula gregarea* d'Azzarola, en Lombardie, se retrouve en Savoie. Enfin, le cal-

caire du *Sasso degli stampi* à faune hettangienne ressemble parfaitement au calcaire de Meillerie (Savoie) avec *Pecten valoniensis*, *Lima hettangiensis*, etc. (Stoppani.)

Dans le Tyrol septentrional, l'infralias présente la composition suivante. Au dessus du calcaire de Hallstadt viennent les *lits de Dachstein*, dont la puissance totale est de 600 mètres, et qui sont formés d'un calcaire blanc ou grisâtre en bancs d'un mètre environ d'épaisseur. La partie supérieure est fossilifère et contient quelques bancs de coraux (*Lithodendron*). La partie inférieure est dépourvue de fossiles. Parmi les coquilles caractéristiques sont l'*Hemicardium Wulferii*, le *Cardium triquetrum* (*Megalodon triqueter*), et d'autres grands bivalves. Au dessus des lits de Dachstein viennent les *lits de Koëssen*, d'une épaisseur totale de 15 mètres, et consistant en calcaire gris et noir, avec marnes calcaires. Parmi ses fossiles quelques espèces sont communes au lias ; un grand nombre, telles que *Avicula contorta*, *Pecten valoniensis*, *Cardium rhæticum*, *Spirifer Munsterii*, sont spéciales. Les couches contenant ces fossiles alternent avec les lits de Dachstein. (Lyell.)

X. — SYSTÈME LIASIQUE.

Synonymie; division en étages. — Le mot *lias*, dont W. Smith se servait déjà vers la fin du siècle dernier, est une expression que les géologues anglais paraissent avoir empruntée aux carriers. Quelques personnes, dit M. d'Archiac, pensent que l'origine de ce mot vient de *layers* (lits, couches, strates), à cause de la multiplicité et de la régularité des bancs dont se compose le terrain liasique dans le sud-ouest de l'Angleterre.

Nous adoptons, pour le système du lias, la division en trois étages qui sont, de bas en haut :

I. L'étage *sinémurien* (Semur, *Sinemurium*), comprenant : le *calcaire à gryphées* ou *lias inférieur* des auteurs; le *troisième étage* du lias, d'Archiac ; l'*étage sinémurien*, d'Orbigny, moins le *grès infraliasique*; le *calcaire à gryphée arquée*, dans notre classification du Jura; le *lower lias shale and blue lias* des Anglais.

II. L'étage *liasien*, comprenant : une partie des *marnes supraliasiques* des auteurs; le *deuxième étage du lias*, d'Archiac ; l'*étage liasien*, d'Orbigny; la *zone de la Gryphæa cymbium;* le *calcaire à bélemnites* et les *marnes à plicatules*, dans notre classification du Jura; le *marlstone* des Anglais.

III. L'étage *toarcien* (Thouars, *Toarcium*), comprenant : une partie des *marnes supraliasiques* et le *grès supraliasique* des auteurs; le *premier étage du lias*, d'Archiac; l'étage *toarcien*, d'Orbigny; les *schistes de Boll*, dans le Wurtemberg; les *schistes bitumineux*, les *marnes à trochus* et le *grès supraliasique*, dans notre classification du Jura; l'*upper lias shale* ou l'*alum shale* et le *Whitby shale* des géologues anglais.

Mers de la période liasique. — Pendant cette période, la mer a déserté certaines contrées, elle en a envahi d'autres, mais ces déplacements se sont effectués de telle sorte que les eaux océaniennes ont recouvert une étendue plus grande qu'auparavant. Dans le nord de la France, la mer semble s'être déplacée de l'est vers l'ouest; car, tandis qu'elle abandonnait toute la partie du massif vosgien où le trias se montre à découvert, elle empiétait sur le massif breton et pénétrait, en formant un détroit, entre ce massif et le plateau central.

Pétrographie du lias. — Le lias se compose d'alternances de calcaires et de marnes, mais les assises de marnes sont bien

plus puissantes que les assises calcaires et l'on peut dire que la composition pétrographique du lias est surtout marneuse. Les calcaires dominent vers la partie inférieure du système liasique et y constituent ordinairement l'horizon, si remarquable par sa constance, du calcaire à gryphées. Les marnes abondent surtout vers la partie supérieure et y forment une masse puissante fréquemment désignée sous le nom de *marnes supraliasiques*. Celles-ci dessinent ordinairement des talus en pente douce, avec une saillie en forme de corniche produite tantôt par un banc calcaire appartenant aux *couches à bélemnites*, tantôt par les *schistes à posidonies* qui constituent un horizon aussi constant que le calcaire à gryphées. Les marnes renferment souvent des rognons calcaires ou *septaria*. Les roches du lias, quelle que soit leur nature, sont d'une nuance foncée, qui a valu à ce terrain le nom de *Jura noir* que lui ont donné les géologues allemands; cette nuance foncée s'observe surtout lorsque le sol est humide. Une autre caractère des roches du lias, c'est leur tendance à se disposer par bancs minces, réguliers, ce qui donne à ce terrain, dans les coupes naturelles, un aspect rubanné. Dans le midi de la France et les Alpes, les dolomies entrent, avec les calcaires et les marnes, dans la composition du lias. Remarquons enfin que ce terrain présente, presque par toute l'Europe, la même allure, les mêmes fossiles et la même constitution pétrographique, ce qui permet d'établir avec facilité le parallélisme de ses diverses assises, même lorsqu'on l'étudie sur des points très éloignés les uns des autres.

Faune de la période liasique. — Pendant la période liasique ont eu lieu la première apparition des ptérodactyliens avec le genre *Rhamphorhynchus* et la dernière apparition des la-

byrinthodontes avec le genre *Rhinosaurus*. Les genres *Ichthyosaurus* et *Plesiosaurus* apparaissent aussi pour la première fois et prennent un grand développement. Les ganoïdes hétérocerques s'arrêtent subitement et sont remplacés par des homocerques. Les céphalopodes sont excessivement abondants : les tentaculifères sont représentés par les genres *Nautilus* et *Ammonites*. Les ammonites des groupes des *Arietes* et des *Capricornii* sont spéciales au lias. Les bryozoaires, les crinoïdes et les polypiers sont peu abondants, ceux-ci ne forment pas de récifs. Il y a sans doute une relation directe entre l'abondance des ammonites et la rareté des polypiers, d'une part, et, d'autre part, la nature du sol sous marin qui était plutôt vaseux que calcaire (tome II, page 564).

Un des gisements fossilifères les plus célèbres du lias est celui de Lyme Regis, sur la côte méridionale de l'Angleterre, dans le Dorsetshire. Le lias de cette localité se compose d'une centaine de lits de calcaire et de marne alternants, formant une épaisseur de 36 mètres surmontée de 162 mètres de marnes ; il est probable, dit M. d'Archiac, que, dans cet ensemble, les quatres étages du lias sont représentés. Le gisement de Lyme Regis est remarquable non seulement par le grand nombre d'espèces et d'individus qu'il contient, mais aussi par leur parfait état de conservation ; on y rencontre, par exemple, des poches à encre de calmar encore gonflées et contenant la matière noire desséchée.

Le lias dans le bassin jurassien. — Dans cette région le système liasique peut se diviser en six assises qui sont, de bas en haut : 1° Le *calcaire à gryphées*. Cette assise, la plus constante de toutes, se compose d'un calcaire marneux, compacte, bleuâtre, quelquefois gris et alors sableux, avec de nombreuses taches

ferrugineuses; ce calcaire est en bancs peu épais, réguliers, alternant avec des lits très minces de marnes schisteuses. Parmi les fossiles, qui sont extrêmement nombreux, se trouvent : *Nautilus intermedius*, *Ammonites Bucklandi*, *A. Kridion*, *Lima gigantea*, *Cardinia concinna*, *Gryphæa arcuata*, *Spirifer Walcotii*, *Pentacrinites basaltiformis*, etc. La puissance de cette assise est, en moyenne, de 8 mètres; sa puissance maximum est de 20 mètres. — 2° Les marnes et calcaires à bélemnites (*Belemnites acutus*, *B. umbilicatus*). Ces marnes sont gris bleuâtre et alternent avec des calcaires marneux, bleu clair à l'intérieur et jaunâtres au dehors. Ces calcaires sont quelquefois disposés comme des pavés, d'autres fois, ils forment une ou deux couches de près d'un mètre d'épaisseur. Dans quelques localités, ils fournissent une excellente chaux hydraulique (Pouilly); les bancs supérieurs sont plus ou moins ferrugineux. Les bélemnites excessivement nombreuses font quelquefois lumachelle. Cette assise, peu développée en Franche Comté, atteint en Bourgogne jusqu'à 60 mètres de puissance. — 3° Les marnes à *Gryphæa cymbium* (marnes à *Ammonites margaritatus et à Plicatules*). — Marnes feuilletées, grisâtres, jaunâtres ou bleu-noirâtre, quelquefois sableuses et micacées, alternant avec des lits calcaréo-marneux, disposés souvent comme des lignes de pavés. Ces marnes peuvent renfermer des concrétions de pyrite sulfureuse, du fer carbonaté lithoïde, et des rognons calcaréo-marneux, appelés *septaria*. Avec la *Plicatula spinosa*, l'*Ammonites margaritatus* (*A. Amaltheus*), et la *Gryphæa cymbium*, on trouve *Pecten æquivalvis*, *Lima Hermanni* et de nombreux individus de *Belemnites Bruguierianus*. Cette assise, épaisse de 16 mètres environ en Franche Comté, atteint en Bourgogne une puissance de plus de 50 mètres. — 4° Les *schistes bitumineux* ou à

posidonies. Marnes très schisteuses, s'enlevant par feuillets qui ressemblent à des schistes ardoisiers; leur couleur varie du noir mat au gris foncé; on rencontre au milieu des couches de petites plaquettes de bitume. Des bancs de calcaire argileux, quelquefois en rognons, sont, dans quelques localités, intercalés au milieu des schistes; ils fournissent un ciment hydraulique très énergique et se placent sur le même niveau que ceux dont on se sert pour la fabrication du ciment de Vassy. Parmi les rares fossiles que cette assise renferme se trouvent quelques ammonites aplaties et la *Posidonomya Bronnii*. Epaisseur moyenne variant de 2 à 3 mètres en Franche-Comté, et de 15 à 20 mètres en Bourgogne. — 5° Les *Marnes à Trochus*, subschisteuses, bleuâtres, assez rarement grises, micacées, avec nombreux rognons de pyrite sulfureuse, et *septaria* enveloppant quelquefois de la strontiane sulfatée. Dans cette assise, dont la puissance moyenne est de 15 mètres, les fossiles se montrent très abondants; les espèces les plus répandues sont : *Belemnites unisulcatus, B. compressus, Ammonites insignis, A. radians, Trochus duplicatus, Turbo capitaneus, Nucula rostralis, Cyathophyllum mactra*. — 6° Le *grès superliasique*. Grès à base marno-calcaire, empâtant des parties sableuses, micacées, avec interposition de marnes et de calcaire marneux. Les fossiles (*Ammonites bifrons, A. opalinus, Nautilus dorsatus*) sont peu nombreux et mal conservés; les plaquettes de grès portent des empreintes de végétaux méconnaissables. Epaisseur variant de 8 à 20 mètres.

Le lias dans les autres parties de la France. — Si nous suivons le lias depuis le Cotentin jusqu'à l'extrémité des Ardennes, nous verrons d'abord ses trois étages assez bien caractérisés dans les départements de la Manche et du Calvados; on y observe le

calcaire à gryphées, puis des couches caractérisées par la *Gryphæa cymbium*, etc., et, enfin, les marnes supérieures avec *Ammonites bifrons*. Jusqu'à présent, le lias n'a pas été signalé au delà de Falaise, le long des nombreux méandres qu'affecte le terrain de transition dans le département de l'Orne. Il reparaît au sud d'Alençon, mais depuis ce point jusque dans les Deux Sèvres, on ne signale que les affleurements discontinus de l'étage toarcien ; nulle part n'apparaît le grand horizon du calcaire à gryphées. Ce dernier revient au jour dans toutes les petites vallées qui traversent les plaines du Poitou et du Berry ; il y est accompagné par les dépôts arénacés de l'infralias. En s'approchant du massif du Morvan, le lias se reconstitue dans toutes ses parties et, plus complet qu'en aucun autre point du bassin, il s'enfonce un instant sous le grand plateau oolitique de la Bourgogne, pour reparaître avec tous ses caractères à l'extrémité sud-ouest des Vosges. A partir de là, il trace une large zone le long des dernières pentes de cette chaîne, traverse la Lorraine, se recourbe à l'ouest dans le Luxembourg et les Ardennes, pour venir expirer avec le groupe oolitique inférieur sur la pointe occidentale de cette dernière chaîne en s'appuyant sur les schistes ardoisiers. Sur le versant sud-ouest du plateau central, ou, du moins, dans sa plus grande partie vers l'ouest, il y a lieu de croire que le calcaire à gryphées n'existe pas. Sur le versant sud-est de ce plateau, au contraire, le lias est plus complet et l'on peut y retrouver les équivalents des trois étages du nord. En remontant vers le nord-est, leur épaisseur diminue très sensiblement, mais ils conservent encore longtemps leurs caractères particuliers jusqu'à ce que le plus récent d'entre eux cesse tout à fait de se montrer au nord de Valence. Le lias apparaît encore par lambeaux sur le versant nord des Pyrénées. (D'Archiac)

Dans le département du Gard, on voit, au dessus de la dolomie infraliasique, le calcaire à gryphées, atteignant jusqu'à 300 mètres de puissance, et présentant deux bancs avec silex; la silice imprégne également la plupart des fossiles que l'on rencontre dans cet étage. Au dessus de ce calcaire viennent les marnes supérieures du lias, très riches en fossiles et divisibles en deux assises dont l'épaisseur totale ne dépasse pas 100 mètres et qui correspondent sans doute aux deux étages supérieurs du lias. L'assise inférieure comprend des marnes noires, bitumineuses, schisteuses, avec fer sulfuré qui imprégne les fossiles, lignite et *septaria*. L'assise supérieure est composée de marnes gris clair ou un peu jaunâtres, friables, avec bancs calcaires subordonnés. On pourrait croire d'après ce qui précède que le lias du midi de la France diffère beaucoup par sa composition de celui du nord, mais il n'en est rien; une coupe prise aux environs de Mende par Kœchlin Schlumberger fait voir que, sur ce point, le lias se compose d'assises assez nombreuses et formant à peu près les équivalents de celles qui existent dans le lias du bassin jurassien.

Dans la Savoie et le Dauphiné, le lias est beaucoup plus épais que dans les autres parties de l'Europe; sa puissance dépasse quelquefois 500 mètres, mais ses divisions en assises et en étages y sont, jusqu'à présent, moins nettement indiquées qu'ailleurs. Il se compose principalement d'une masse considérable de calcaires compactes avec ammonites et bélemnites, recouverte par des schistes argilo-calcaires avec bélemnites non déterminables; les schistes sont quelquefois ardoisiers.

Le lias en Angleterre. — Le lias forme dans ce pays une bande assez étroite qui se prolonge depuis Lyme Regis (Dorsetshire), sur les côtes de la Manche, jusqu'à l'embouchure de la Tees

(Yorkshire), sur le bord de la mer du Nord ; cette bande s'appuie à l'ouest sur le terrain triasique et sur les formations plus anciennes, et plonge, à l'est, sous les formations plus récentes. Les géologues anglais distinguent dans le lias de leur pays trois groupes qui correspondent assez exactement aux étages sinémurien, liasien et toarcien. Ces trois groupes sont : 1° Le *lias bleu* et l'*argile inférieure du lias* (*blue lias and lower lias shale*) constituent un dépôt calcaréo-argileux de teinte foncée, contenant accidentellement des pierres à ciment ou des concrétions comme le lias supérieur. Ce groupe, qui empiète un peu sur l'étage liasien, a pour fossiles principaux : *Ammonites planicosta*, *A. Cornucopiæ*, *Belemnites elongatus*, *Gryphæa arcuata*, *G. obliquata*, *Avicula inæquivalvis*, *Lima antiquata, Hippopodium ponderosum, Pentacrinus scalaris*, *P. Briareus*. La partie supérieure de ce groupe, dont la puissance est quelquefois de 200 mètres, présente des couches sableuses, séparées par des nodules ferrugineux, pétris de *Plicatula spinosa* et renfermant plus haut *Belemnites compressus*. 2° Le *marly sandstone* (*marlstone,* par abbréviation), que quelques géologues anglais avaient à tort placé au dessus du système liasique, erreur qui s'est propagée jusqu'à nos jours parmi les géologues du continent (1). Ce groupe, dont la puissance moyenne peut être appréciée à 50 mètres, consiste

(1) L'expression de *marlstone* a été introduite dans la science par W. Smith qui s'en est servi pour désigner la partie supérieure du lias. Mais, dans les environs de Bath que W. Smith avait plus spécialement en vue, les marnes supraliasiques manquent et l'oolite inférieure recouvre immédiatement le lias moyen. Une anomalie mal interprétée a donné lieu à une erreur qui a été partagée par quelques géologues anglais et qui s'est d'autant mieux répandue sur le continent que le *marlstone* de l'Angleterre et les couches infra-oolitiques renferment également des bancs ferrugineux.

en des alternances d'argile sableuse, de grès calcarifère et de *dogger*, supportant des lits de nodules ferrugineux. Les principaux fossiles sont: *Ammonites Stokesi, A. acutus, Turbo depressus, Cardium truncatum, C. multicostatum, Avicula cygnipes, A. inæquivalvis, Terebratula tetraedra, Pecten planus*, etc. 3° L'*argile supérieure du lias* ou *argile alumineuse* (*upper lias shale* ou *alum shale, Whitby shale*); ce groupe, dont l'épaisseur est de 100 mètres environ, se compose de marnes schisteuses, ordinairement très foncées, très pyriteuses, exploitées quelquefois pour la fabrication de l'alun. Elle renferme aussi de nombreux nodules calcaires exploités pour la fabrication du ciment. Les principaux fossiles sont: *Ammonites bifrons, A. fimbriatus, Belemnites acutus, B. compressus, B. elongatus, Nucula ovum, Amphisdema rotundatum, Plicatula spinosa, Inoceramus dubius*, etc.

Le lias dans les autres contrées de l'Europe. — Dans le Wurtemberg et la Bavière septentrionale, le lias présente à peu près la même disposition que dans le Jura. Le calcaire à gryphées, dont l'épaisseur est de 13 à 18 mètres, se compose de calcaires grisâtres alternant avec des lits très minces de marnes schistoïdes. Au dessus viennent trois assises correspondant au lias moyen. La première, constituée par des argiles schisteuses avec coquilles silicifiées, et la seconde, consistant en des marnes solides grisâtres, ont ensemble une puissance de 35 mètres et sont caractérisées par la *Gryphæa cymbium* et la *Terebratula numismalis*; elles sont les équivalents du *calcaire à bélemnites* du Jura. La troisième assise, comprenant des couches argileuses, foncées, avec géodes ferrugineuses, est, comme celle qui lui correspond dans le Jura, caractérisée par l'*Ammonites amaltheus*. Le lias se termine ensuite par deux assises: les

schistes à posidonies, et les marnes à *Ammonites jurensis*. L'assise des schistes à posidonies consiste principalement en marnes schistoïdes bitumineuses, peu altérables, et résistant très bien, dans les escarpements, à la destruction par les agents atmosphériques. Le fer sulfuré est disséminé en parties très fines dans cette assise où beaucoup de sources sulfureuses prennent naissance. L'assise des marnes à *A. jurensis* se compose de marnes gris clair et de bancs calcaires; son épaisseur varie de 2 à 12 mètres.

M. Ad. Roemer divise le lias du nord-ouest de l'Allemagne en trois étages. 1° Le *calcaire à gryphées*, moins développé que dans le sud de l'Allemagne et consistant en une marne bleue avec concrétions calcaires. 2° Les *couches à bélemnites*, constituées par une marne ferrugineuse, brun rouge, avec grès ferrugineux; cet étage renferme la *Terebratula numismalis*, la *Gryphœa cymbium*, etc. 3° Les *schistes à posidonies*. Cet étage, le plus puissant des trois, a une épaisseur de 200 à 250 mètres. Il comprend des rognons de marne calcaire, avec *Monotis substriata*, des couches minces, en dalles, souvent bitumineuses, à surfaces luisantes dans le sens des feuillets, et des marnes schistoïdes, de teinte foncée, quelquefois noires, à cassure mate et terreuse.

XI. — SYSTÈME OOLITIQUE INFÉRIEUR.

Synonymie; division en étages. — Le système oolitique inférieur se divise en trois étages (1) :

(1) Pour éviter toute équivoque, je dois prévenir le lecteur que l'expression d'oolite inférieure n'est pas employée par tous les géologues dans le sens qu'on lui donne ici. Souvent on réserve spécialement le nom d'oolite inférieure à tout ce qui est au dessous de la grande oolite et, quelquefois même, aux couches infra-oolitiques seulement.

I. — Étage *lédonien* (*Ledo*, Lons le Saunier), comprenant: la partie inférieure de l'*étage bajocien* ou de *Bayeux*, d'Orbigny; l'*oolite ferrugineuse* et le *calcaire à polypiers* de diverses contrées; le *calcaire à entroques* de Bourgogne et de Franche-Comté; le *lower oolite* des Anglais; le *Jura brun* (β), Quenstedt; les *zones à Trigonia navis* et *à Ammonites Murchisonæ*.

II. — Étage *vésulien* (*Vesoul*, Vesulium), comprenant: la partie supérieure de l'*étage bajocien*, d'Orbigny; les *marnes de Port en Bessin*; les *marnes interoolitiques*, Boyé; les *marnes à Ostrea acuminata* de diverses contrées; la *terre à foulon*; le *calcaire marneux jaunâtre*, Bonnard; le *fuller's earth* et le *Stonesfield slate* des Anglais; le *Jura brun* (γ), Quenstedt; la *zone à Ammonites Humphriesianus*, Oppel.

III. — Étage *Mandubien* (les *Mandubii*, habitants des bords du Doubs, où cet étage est très développé), comprenant: l'*étage bathonien*, d'Orbigny; la *grande oolite* de diverses contrées; le *calcaire roux sableux* et la *dalle nacrée*, Thurmann; le *great oolite*, le *forest-marble*, le *Bradford-clay* et le *cornbrash* des Anglais; le *Jura-brun* (δ), Quenstedt; les *zones à Ammonites Parkinsoni*, *Terebratula digona* et *T. legenalis*, Oppel.

Mers de la période oolitique inférieure. — Pendant la période oolitique inférieure, les mers étaient réparties à peu près de la même manière que pendant la période liasique. Le changement le plus important qui, à la fin de cette dernière période, s'est produit dans la configuration de l'Europe, a été le premier émergement du massif alpin; ce massif formait une presqu'île soudée au plateau central par un isthme occupant à peu près l'emplacement du Dauphiné. Le massif alpin et le plateau central, ainsi réunis, constituaient un continent qui scindait la mer de la période oolitique inférieure en deux

bassins, où se déposaient des terrains présentant de part et d'autre des caractères différents (1).

Pétrographie. — Contrairement à ce que nous avons constaté pour le trias, l'oolite inférieure offre une constitution pétrographique plutôt calcaire que marneuse; en outre, bien qu'il existe presque toujours certaines analogies entre les assises qui, sur des points éloignés les uns des autres, appartiennent au même horizon, on remarque que les roches dont se compose le système oolitique inférieur varient beaucoup soit dans le sens horizontal, soit dans le sens vertical. Ce polymorphisme du terrain oolitique inférieur s'oppose à ce qu'on puisse donner en peu de mots une idée de sa composition lithologique. Aussi faudra-t-il nous en tenir aux considérations générales qui suivent. En Allemagne, tout ce terrain est marneux; la grande falaise de l'alpe wurtembergeoise ne montre pour le système oolitique inférieur qu'un immense talus de marnes entrecoupées d'assises très peu puissantes de calcaires marneux. Ce n'est qu'en pénétrant dans le canton de Zurich que l'on commence à trouver des assises calcaires prédominant en puissance sur les assises marneuses, mais seulement dans la partie inférieure du système. A Bâle, les deux tiers de l'étage sont entièrement

(1) Dans les Alpes, les assises inférieures de l'étage oxfordien reposent sur les assises supérieures du lias sans que l'on puisse distinguer entre elles un groupe de couches qui représente nettement le groupe oolitique inférieur. Le groupe oolitique inférieur, si puissant dans le Jura et jusqu'aux environs de Bourgoin, manque à Crussol, ou, du moins, y est représenté tout au plus par une petite couche de 0m,40 d'épaisseur. Aux environs de Privas, il en est de même; cette partie de terrain jurassique, entre la base de l'étage oxfordien, qui renferme le minerai de Veyras, et les couches supérieures du lias, n'est indiquée que par quelques couches de calcaire sableux rempli de débris d'encrines, dont l'épaisseur totale est le plus souvent d'un mètre. (Lory.)

ou *interoolitiques* (*marnes interoolitiques*, Boyé; *terre à foulon* et *marnes à Ostræa acuminata; marnes vésuliennes*, Marcou). Marnes gris-jaunâtre, quelquefois bleuâtres, rudes, peu homogènes, renfermant une grande quantité de concrétions calcaires; cette assise, qui devient quelquefois complétement calcaire, offre, à cause de ses divers faciès, de grandes difficultés pour être reconnue. Dans le Lyonnais, elle est représentée par le *calcaire jaune de Couzon*. Fossiles principaux : *Belemnites canaliculatus*, *Ostræa Knorii*, *O. acuminata*, *O. Marshii*, *Lima proboscidea*, *Ceromya tenera*, *Pholadomya Murchisoni*, *Homomya gibbosa*, *Holectypus depressus*. — 5° Le *calcaire schistoïde siliceux* (*calcaire marneux jaunâtre*, Bonnard; *calcaire à bucardes* (pholadomyes) de Bourgogne; *calcaire fétide*, Germain). A cette assise correspond dans le Lyonnais le *ciret;* on donne ce nom à un calcaire marneux, en bancs minces, séparés par des lits de marne schisteuse. — 6° La *grande oolite*. Calcaires compactes et oolitiques, quelquefois blanchâtres, mais le plus souvent grisâtres avec taches bleues et roses. Dans le Lyonnais, cette assise est représentée par le *calcaire de Lucenay*. Les fossiles sont peu nombreux et assez mal conservés; un des plus caractéristiques est la *Terebratula Hopkinsii*. — 7° Le *forest-marble* ou *calcaire compacte à taches roses* (*calcaire compacte inférieur*, Thirria; *calcaire roux sableux*, Thurmann). Calcaires compactes, gris blanchâtre avec taches roses, à structure bréchoïde, en bancs très épais. Fossiles très rares. — 8° *Cornbrash* (*dalle nacrée*, Thurmann; *calcaire à oolites oviformes*, Thirria). Calcaires roux, tachés de bleu, oolitiques miliaires, passant souvent à une lumachelle et ayant alors un reflet nacré, très fissiles, s'enlevant par petites dalles. A la partie inférieure on rencontre un banc marneux, renfermant un assez grand nombre de fossiles, surtout de petits

Le système oolitique inférieur dans le bassin jurassien. — Dans cette région, ce système peut se diviser en six assises : 1° Les *couches infra-oolitiques* (*oolite ferrugineuse* de Franche Comté ; *couches à Pecten personatus* ; *couches à fucoïdes* du Lyonnais). Calcaire ferrugineux, ordinairement oolitique, accompagné de couches calcaréo-marneuses, bleuâtres, avec parties jaunâtres ou rougeâtres. Ce calcaire est quelquefois assez riche en fer pour donner lieu à des exploitations. Fossiles principaux : *Nautilus lineatus, Ammonites Sowerbyi, A. discus, A. Murchisonæ, A. opalinus, A. Humphriesianus, Lima proboscidea, Terebratula perovalis, Pholadomya fidicula, P. Murchisoni.* — 2° Le *calcaire à entroques* (*calcaire lédonien,* Marcou ; *calcaire à entroques* et *marnes à Pecten,* Boyé). Cette assise est constituée par des calcaires tantôt compactes ou oolitiques, tantôt lumachelliques ; ils sont fréquemment pétris de débris spathiques d'entroques qui donnent à la roche un éclat nacré. Les fossiles sont peu nombreux et se montrent dans un mauvais état de conservation. Aux environs de Lyon, cette assise est représentée par des bancs minces, immédiatement placés au dessous du *ciret* et presque entièrement formés de fragments de coquilles, de polypiers et d'entroques. — 3° Le *calcaire à polypiers* (*calcaire à polypiers, à térébratules* et *oolite summo-inférieure,* Boyé). Calcaire compacte, tenace, grisâtre, avec nombreux rognons siliceux et polypiers saccharoïdes, se cassant par petits fragments écailleux et très durs. Les fossiles que l'on rencontre dans ce groupe, appartiennent au faciès corallien et présentent un beau développement de bancs de polypiers qui n'existent pas en Suisse et qui ne commencent à paraître que près des frontières de la France ; ils s'étendent dans la partie nord-ouest du Jura, dans la Haute Saône et jusque dans la Moselle. — 4° Les *marnes à spiropores*

ou *interoolitiques* (*marnes interoolitiques*, Boyé; *terre à foulon* et *marnes à Ostræa acuminata; marnes vésuliennes*, Marcou). Marnes gris-jaunâtre, quelquefois bleuâtres, rudes, peu homogènes, renfermant une grande quantité de concrétions calcaires; cette assise, qui devient quelquefois complétement calcaire, offre, à cause de ses divers faciès, de grandes difficultés pour être reconnue. Dans le Lyonnais, elle est représentée par le *calcaire jaune de Couzon*. Fossiles principaux : *Belemnites canaliculatus*, *Ostræa Knorii*, *O. acuminata*, *O. Marshii*, *Lima proboscidea*, *Ceromya tenera*, *Pholadomya Murchisoni*, *Homomya gibbosa*, *Holectypus depressus*. — 5° Le *calcaire schistoïde siliceux* (*calcaire marneux jaunâtre*, Bonnard; *calcaire à bucardes* (pholadomyes) de Bourgogne; *calcaire fétide*, Germain). A cette assise correspond dans le Lyonnais le *ciret;* on donne ce nom à un calcaire marneux, en bancs minces, séparés par des lits de marne schisteuse. — 6° La *grande oolite*. Calcaires compactes et oolitiques, quelquefois blanchâtres, mais le plus souvent grisâtres avec taches bleues et roses. Dans le Lyonnais, cette assise est représentée par le *calcaire de Lucenay*. Les fossiles sont peu nombreux et assez mal conservés; un des plus caractéristiques est la *Terebratula Hopkinsii*. — 7° Le *forest-marble* ou *calcaire compacte à taches roses* (*calcaire compacte inférieur*, Thirria; *calcaire roux sableux*, Thurmann). Calcaires compactes, gris blanchâtre avec taches roses, à structure bréchoïde, en bancs très épais. Fossiles très rares. — 8° *Cornbrash* (*dalle nacrée*, Thurmann; *calcaire à oolites oviformes*, Thirria). Calcaires roux, tachés de bleu, oolitiques miliaires, passant souvent à une lumachelle et ayant alors un reflet nacré, très fissiles, s'enlevant par petites dalles. A la partie inférieure on rencontre un banc marneux, renfermant un assez grand nombre de fossiles, surtout de petits

polypiers spongieux et des bryozoaires. Les principaux de ces fossiles sont : *Pecten vagans, Ostræa costata, Terebratula digona, T. cardium, T. coarctata.* — Des huit assises qui viennent d'être mentionnées, les trois premières constituent l'étage lédonien ; les deux suivantes, l'étage vésulien ; les trois dernières, l'étage mandubien.

L'oolite inférieure dans les autres parties de la France. — Dans la Normandie, le système oolitique inférieur se divise en trois étages. Le premier, dont la puissance est de 15 mètres, comprend deux assises : 1° l'*oolite ferrugineuse*, formée d'un calcaire jaunâtre ou grisâtre, avec une multitude d'oolites ferrugineuses ; 2° l'*oolite blanche*, formée d'un calcaire blanc grisâtre. Le deuxième étage, épais de 30 mètres, comprend les *marnes de Port en Bessin* et le *calcaire de Caen*, constituant deux faciès d'un même terrain. Le troisième étage, puissant de 35 mètres, est constitué par une masse compacte de calcaires blancs, avec quelques lits sableux ou marneux. Il peut se diviser en trois assises : 1° l'*oolite miliaire*, correspondant exactement au *great-oolite* des Anglais ; 2° le *calcaire de Ranville* et le *calcaire à polypiers*, dont le nom est très mal choisi, puisqu'il ne renferme que des bryozaires et des spongiaires ; cette assise correspond au *Bradford-clay ;* 3° la *pierre blanche de Langrune* qui semble représenter le *forest-marble.* Dans cette succession d'assises, le cornbrash paraît ne pas avoir de représentant. (Deslongchamps.)

Si, en s'éloignant du Calvados, on se dirige au sud, dans le département de l'Orne, on peut reconnaître les principales divisions de l'oolite inférieure avec leurs caractères habituels, excepté dans le voisinage du terrain de transition où les dépôts prennent souvent un caractère arénacé. Le long des bords dé-

coupés du terrain ancien de la Mayenne, l'aspect des étages se modifie, leur puissance diminue, et, avant d'atteindre la Loire, tous disparaissent sous des dépôts plus récents. A partir de la rive gauche du fleuve, dans l'Anjou, le Poitou et le Berry, le terrain oolitique inférieur affecte une grande uniformité : les roches deviennent plus dures, plus rarement oolitiques, de teintes en général plus foncées, et la silice tend à y prédominer à mesure qu'on s'avance vers l'est. L'épaisseur de ce terrain diminue aussi lorsqu'on s'approche du plateau qui sépare les montagnes cristallines de la Vendée et du Limousin. Quelques lambeaux, isolés à la surface de ces dernières, témoignent de son ancienne extension sur le versant nord du massif central. Sur les limites du Nivernais et de la Bourgogne, des divisions assez tranchées commencent à se dessiner de nouveau dans l'ensemble du groupe qui devient plus épais; les caractères pétrographiques, comme les fossiles, y marquent des horizons très prononcés qui conservent toute leur importancc dans la Bourgogne et la Lorraine. Mais, dès que la zone de terrain oolitique inférieur se recourbe au nord-ouest, la plupart de ces horizons s'affaiblissent de nouveau. Les caractères pétrographiques et paléontologiques tendent à se confondre, en même temps que la puissance des étages diminue. Les formes extérieures du pays s'altèrent; elles ne présentent plus à l'œil ces vastes plateaux terminés par des arêtes vives, et couronnant des talus plus ou moins inclinés qui nous traduisent de loin la nature et l'âge des roches qui les constituent. Plus d'étages distincts, plus de faunes absolument caractérisées, plus de grandes assises calcaires séparant de grandes masses argileuses; tout s'atténue et se perd dans de petites couches qui passent à chaque instant les unes aux autres, jusqu'à ce que tout disparaisse enfin sous les sédiments secondaires plus ré-

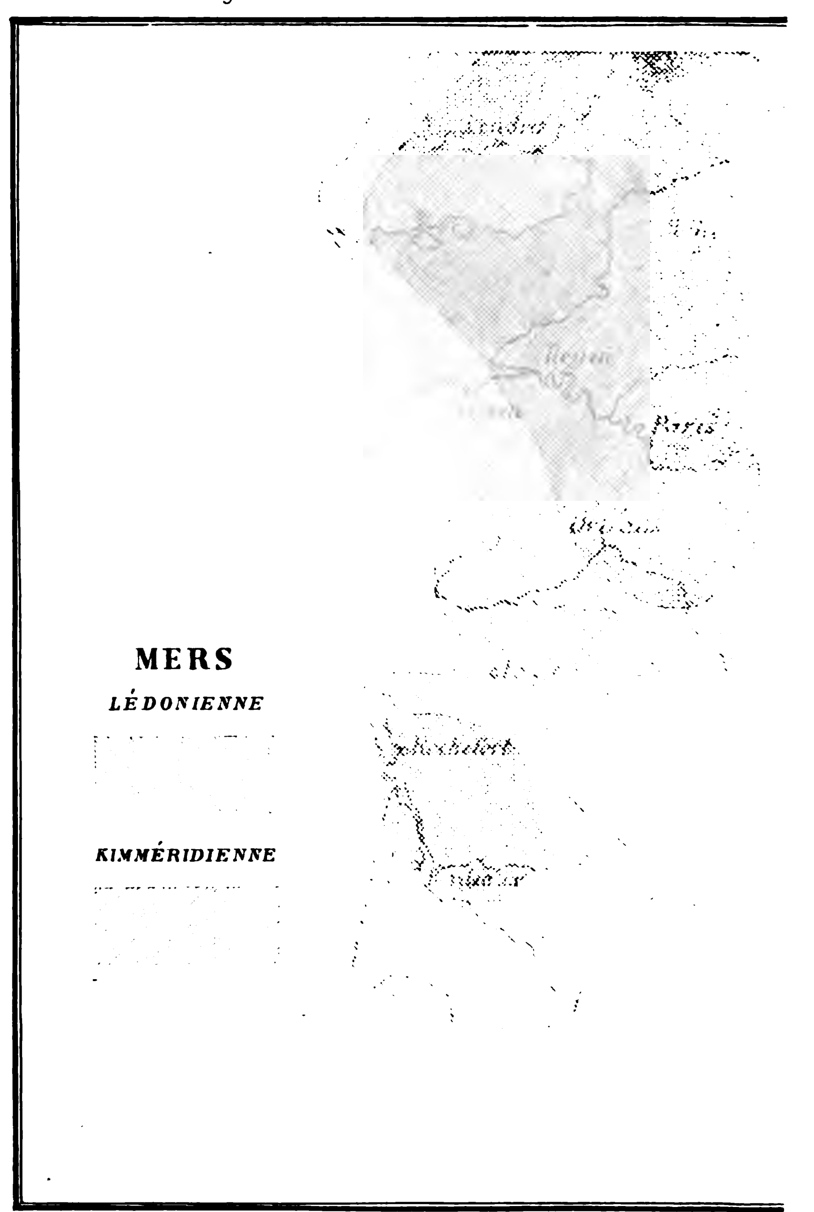
cents. Le terrain oolitique inférieur, après s'être enfoncé sous ces terrains plus modernes, reparaît, dans le Bas Boulonnais, encore plus aminci. (D'Archiac.)

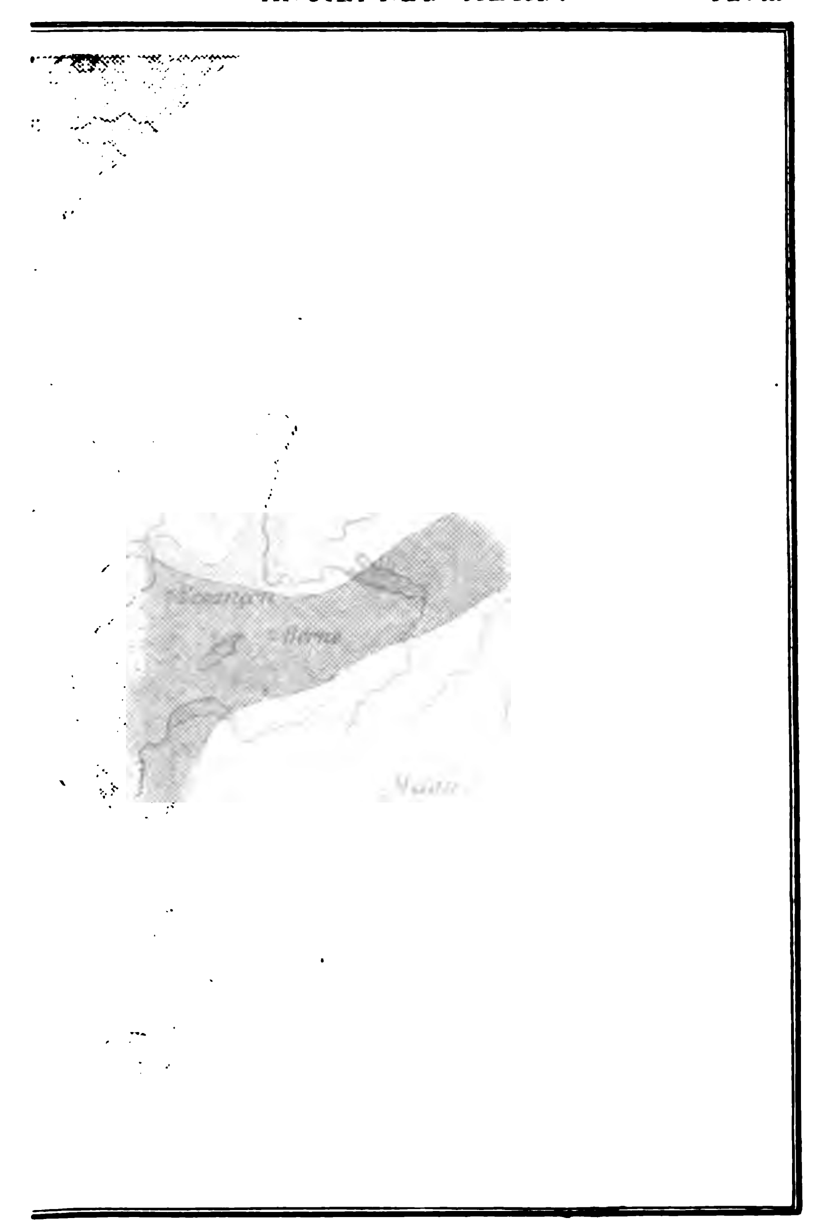
Sur le versant sud-ouest du plateau central, le terrain oolitique inférieur ne présente que des surfaces planes ou peu ondulées; ses roches sont des calcaires marneux, blancs ou jaunâtres, avec des silex à la base. Sur le versant sud-est, des calcaires durs, inaltérables à l'air, surmontant partout les pentes régulières du lias, marquent, par des arêtes rectilignes, le bord supérieur des plateaux, en suivant le contour des vallées, toujours accompagnées d'escarpements rocheux et abruptes. Les fossiles sont généralement très rares ou manquent complétement. Le fer s'y trouve en couches régulières, ainsi que des dépôts de combustibles, exploités notamment sur le Larzac; mais la circonstance la plus remarquable est la présence des dolomies qui remplacent presque constamment les calcaires ordinaires à la partie supérieure du groupe. Le terrain oolitique inférieur s'amincit à mesure que l'on remonte au nord-est, le long des Cévennes; mais on peut le suivre pendant longtemps réduit à une simple couche. Le terrain oolitique inférieur du versant sud du plateau central se distingue de celui du nord de la France par la simplicité et l'uniformité qu'il présente, depuis la Vendée jusque sur les bords du Rhône.

Le système oolitique inférieur en Angleterre. — Ce terrain dessine en Angleterre, une zone qui traverse ce pays diagonalement du Yorkshire jusqu'au Dorsetshire. Il peut se diviser en huit assises qui correspondent assez exactement à celles que nous avons distinguées dans le Jura. 1° Les *couches infra-oolitiques,* formant une assise de 12 à 20 mètres d'épaisseur; ces couches sont tantôt des grès ferrugineux calcarifères, tantôt des calcaires

à oolites imparfaites. A cette assise appartiennent l'oolite à gros grains, désignée dans le Gloucestershire sous le nom de *peagrit*, et le *dogger*, nom que l'on donne, dans le Yorkshire, à un grès ferrugineux calcarifère, souvent coquillier. Fossiles : *Ammonites Murchisonæ*, *Terebratula perovalis*, *Rhynchonella subtetraedra*, *Thecosmilia gregaria*, *Thamnastrea unguiformis*, *Isastrea tenuistriata*. — 2° L'*oolitic freestone* du Gloucestershire. Cette assise, puissante de 50 mètres, se compose à sa base de calcaire oolitique, renfermant un grand nombre de fossiles brisés ; au dessus viennent des marnes d'un blanc jaunâtre, alternant avec des calcaires marneux. Fossiles : *Rhynchonella concinna*, *Terebratula fimbria*, *T. tetraedra*. — 3° *Le ragstone* du même pays, formé d'un calcaire sableux, oolitique, de couleur brun jaunâtre, en assises régulières souvent séparées les unes des autres par des lits assez minces de marnes jaunes. La roche est quelquefois pétrie d'oursins. Epaisseur : 12 mètres. Fossiles : *Ammonites Parkinsoni*, *Phasianella striata*, *Trigonia costata*, *Lima proboscidea*, *Ostræa Marshii*, *O. acuminata*, *Terebratula perovalis*, *Rhynchonella concinna*, *Nucleolites clunicularis*, *Holectypus depressus*. — 4° Le *fuller's earth*, dont l'épaisseur varie de 20 à 25 mètres, est composé d'argiles, de marnes subschisteuses bleues ou jaunes, avec quelques lits intercalés d'un calcaire sableux et un calcaire grossier (*fuller's earth rock*) à la base. On y trouve abondamment les *Gonomya angulifera*, *Rhynchonella concinna* et surtout l'*Ostræa acuminata* qui forme lumachelle. C'est dans le Wiltshire qu'existe la partie de cette assise exploitée comme terre à foulon. — 5° Les *schistes de Stonesfield*, (Oxfordshire). Cette assise se compose de deux couches de calcaire oolitique, gris ou jaune clair, fissile, séparées par un banc de grès calcaréo-siliceux. La pierre exploitée se fend facilement

CARTES DES





en dalles assez minces pour être employées à couvrir les maisons. Fossiles : *Belemnites canaliculatus*, *Nerita spirata, Nucula mucronata, Pecten vagans, Ostrœa acuminata, Clypeus sinuatus*. — 6° Le *great oolite,* qui a une épaisseur moyenne de 12 mètres, est extrêmement variable dans tous ses caractères, le nombre et l'épaisseur de ses couches. Tantôt, comme dans l'Yorkshire, il se compose d'alternances de grès et de schistes argileux avec débris de végétaux et amas charbonneux; tantôt, il comprend des calcaires grossiers, marneux ou oolitiques, exploités quelquefois comme pierres de construction. Fossiles : *Actæon acutus*, *Terebratula maxillata*, *Nucleolites clunicularis*, *Clypeus solodorinus*. — 7° Le *forest-marble,* dont l'épaisseur est de 15 mètres environ; on y trouve habituellement tantôt des marnes bleuâtres, interstratifiées avec un calcaire grossier, oolitique, souvent pétri de fragments de coquilles, tantôt des sables siliceux jaunes, passant à un calcaire sableux. Les fossiles (*Pecten varians, Terebratula digona, Apiocrinus rotundus*), sont peu abondants et presque tous brisés. Auprès de Bradford, dans le Wiltshire, existe une assise marneuse, le *Bradford-clay,* que quelques géologues considèrent comme étant un développement d'une des assises marneuses qui se placent à différents niveaux dans le forest-marble. — 8° Le *cornbrash* (1), qui n'a que deux mètres d'épaisseur, se compose d'un calcaire grossier, se brisant en petits fragments caillouteux, de couleur blanc jaunâtre, et s'enlevant par dalles à surfaces rugeuses. On y trouve des amas de marnes sableuses renfermant des

(1) L'expression de *cornbrash* est tirée de l'agriculture; *brash* désigne les petits cailloux fragmentaires non arrondis qui recouvrent les champs où se cultivent généralement des grains *(corn)*. Le *forest-marble* tire son nom de la forêt de Wychwood (Oxfordshire) où il était jadis exploité.

fossiles bien conservés, tels que *Ammonites Herveya, Lima gibbosa*, *Terebratula digona*, *Nucleolites clunicularis*, etc.

Le système oolitique inférieur en Allemagne. — Dans le Wurtemberg et la Bavière septentrionale, le terrain oolitique inférieur débute par des argiles noirâtres (*Jura brun*, α) que quelques géologues placent à la partie supérieure du lias; ces argiles sont caractérisées par l'*Ammonites opalinus* et par la *Trigonia navis*, spéciale à l'Alsace et à l'Allemagne. Vers le haut, ces argiles se mélangent de sable micacé et passent à l'assise suivante (β). Celle-ci se compose de grès brun jaunâtre avec *Pecten personatus* et de marnes sableuses alternant avec des couches de minerai de fer. Puis vient l'assise (γ) que M. O. Fraas considère comme l'équivalent du calcaire lédonien et du calcaire à polypiers de la Franche-Comté, et qui se compose d'un calcaire bleu, assez semblable à celui du lias et de marnes sablonneuses micacées, avec bancs de coraux, *Ammonites Sowerbyi*, *Belemnites breviformis*. M. O. Fraas rattache au *fuller's earth* l'assise (δ), composée de calcaires marneux, gris bleu, avec oolites ferrugineuses vers le haut et nombreux fossiles, tels que *Belemnites giganteus, Ostræa Marshii*, *Lima proboscidea, Trigonia costata*, *Pholadomya Murchisoni*, *Ostræa Knorri* ou *costata*, etc. Le terrain oolitique inférieur se termine par une assise (δ) placée au dessus de la précédente, épaisse de 10 mètres seulement, et comprenant une argile grise avec des calcaires marneux et un banc oolitique à la base. Il est difficile d'indiquer à quelles parties de l'étage mandubien correspond cette assise qui renferme, entre autres fossiles, l'*Ammonites Parkinsoni*. Le terrain oolitique inférieur, déjà assez aminci dans le centre de l'Allemagne, est encore plus réduit dans le nord-ouest de ce pays.

XII. — SYSTÈME OOLITIQUE MOYEN.

Synonymie ; division en étages. — Le système oolitique moyen se divise en trois étages :

I. — Étage *kellovien* (Kelloway, en Angleterre), comprenant : l'*étage callovien*, d'Orbigny ; le *fer sous-oxfordien* des géologues jurassiens : le *Kelloway-rock* des Anglais; le *Jura brun* (ε), Quenstedt ; les *zones* de l'*Ammonites macrocephalus* et de l'*A. anceps*, Oppel.

II. — Étage *oxfordien* (Oxford, en Angleterre), comprenant : l'*étage oxfordien*, d'Orbigny et la plupart des auteurs ; les *étages oxfordien* et *argovien*, Marcou ; l'*oxford-clay* des Anglais ; le *Jura brun* (ζ) et le *Jura blanc* (α, β, γ), Quenstedt ; les *zones* de l'*Ammonites athleta*, *de* l'*A. biarmatus* et des *spongiaires*, Oppel.

III. — Étage *corallien*, comprenant : l'*étage corallien*, d'Orbigny et la plupart des auteurs ; le *terrain à chailles*, l'*oolite corallienne* et le *calcaire à nérinées* de la Franche-Comté ; le *calcareous-grit inférieur*, le *coral-rag* et le *coralline oolite* des Anglais ; le *Jura blanc* (δ, ε), Quenstedt ; les *zones* des *Cidaris florigemma* et *Diceras arietina*, Oppel.

Mers de la période oolitique moyenne. — Lorsque la période oolitique moyenne a commencé, les principaux changements qui avaient été apportés dans la configuration des mers étaient, outre une diminution dans l'étendue des bassins occupés par chacune d'elles, l'apparition d'un isthme rattachant le massif breton au plateau central et l'établissement, entre ce plateau et la région des Alpes, d'un détroit faisant communiquer

la Méditerranée avec le bassin jurassien. Ce bassin se rattachait encore à celui du nord de la France, puisque des lambeaux de terrains oxfordien et corallien se montrent sur les parties élevées de la Côte d'Or, mais le détroit qui faisait communiquer ces deux bassins devait être très resserré et peu profond. Déjà, la ligne de séparation entre les versants océanien et méditerranéen commençait à se dessiner. C'est vers le commencement de la période oolitique inférieure que s'est montrée la mer où se sont déposées les strates appartenant, dans le centre et le nord de la Russie, à la série jurassique.

Pétrographie et faune de la période oolitique moyenne. — Le système oolitique moyen doit se diviser en deux groupes, le terrain oxfordien et le terrain corallien, ressemblant beaucoup par leurs roches comme par l'aspect général de leurs fossiles, l'un au lias, l'autre à l'oolite inférieure. Le terrain oxfordien se compose de marnes bleues comme celles du lias supérieur, mais d'une nuance moins foncée. La faune du terrain oxfordien rappelle aussi celle du lias, non seulement par les genres, mais aussi par les espèces qui, dans les deux terrains, sans être identiques, offrent pourtant beaucoup d'analogie entre elles. Très riche en ammonites et en bélemnites, cette faune est presque complétement dépourvue de polypiers. Dans le terrain corallien, au contraire, on retrouve les divers aspects offerts par le terrain oolitique inférieur; dans un cas et dans l'autre, ce sont la même abondance et la même variété de roches calcaires aux faciès multiples; les ammonites et les bélemnites sont rares, les polypiers se montrent partout et forment des bancs nombreux et très étendus. Pourtant, les systèmes oxfordien et corallien présentent plus d'uniformité dans leur allure que les terrains auxquels nous venons de les comparer.

ce qui permet de résumer leur constitution pétrographique de la manière suivante. Dans la plupart des cas, le système oolitique moyen débute par une mince assise ferrugineuse, supportant deux assises, l'une marneuse, l'autre calcaire, qui tantôt existent simultanément et tantôt se développent l'une aux dépens de l'autre. Une zone de roches calcaréo-siliceuses, plus ou moins pénétrées de substances ferrugineuses, se place entre les terrains oxfordien et corallien. Celui-ci est en majeure partie composé de roches coralliennes, oolitiques ou lumachelliques et se termine souvent par une zone de calcaires blanchâtres avec nombreuses nérinées.

Le système oolitique moyen dans le bassin jurassien. — Nous distinguons dans ce système six assises: 1° Le *terrain kellovien* (*fer sous oxfordien*). Cette assise, dont l'épaisseur varie depuis quelques décimètres jusqu'à 10 mètres, comprend des marnes grossières, grumeleuses, jaunâtres et des calcaires marneux, jaunâtres ou gris bleuâtre. Vers sa partie supérieure, elle contient des oolites ferrugineuses, lenticulaires, à reflet métallique, se dégageant facilement de leur guangue. Fossiles principaux : *Belemnites latesulcatus*, *Nautilus hexagonus*, *Ammonites athleta*, *A. coronatus*, *A. macrocephalus*, *A. anceps*, *Pleurotomaria granulata*, *Trigonia monilifera*, *Pholadomya carinata*. — 2° *Marnes oxfordiennes* (*terrain oxfordien proprement dit*), homogènes, se désagrégeant à l'air, argileuses, grasses, quelquefois rendues noirâtres par des substances charbonneuses, avec plaquettes de gypse et nodules de pyrite de fer. Les fossiles, très nombreux, sont presque toujours, excepté les bélemnites, à l'état pyriteux; mais, une fois exposé à l'air, le sulfure de fer dont ils se composent se transforme en fer hydraté. Fossiles principaux:

Belemnites hastatus, A. dentatus, A. perarmatus, A. cordatus, A. Lamberti, A. Backeriæ, A. Jason, A. Mariæ, A. lunula, Nucula subovalis, Pecten fibrosus, Terebratula Thurmanni, T. impressa, Pentacrinus pentagonalis. — 3° *Calcaire oxfordien* (*terrain argovien*, Marcou; *calcaires marneux et rognons oxfordiens*, Boyé). Marnes argileuses, bleu grisâtre, alternant avec de nombreuses couches de calcaires marneux, bleuâtres, à texture grenue, à cassure conchoïdale. Ces calcaires marneux, disposés comme des lignes de pavés, présentent l'aspect de rognons céphalaires, souvent à zones concentriques. Des lits minces de grès schisteux, gris jaunâtre et bleuâtre, contenant des empreintes végétales, se rencontrent à la partie supérieure. Dans cette assise les ammonites deviennent moins abondantes, tandis que les bivalves, et surtout les pholadomyes, se montrent en grand nombre; ces fossiles sont toujours à l'état calcaire et jamais à l'état pyriteux. Les deux assises, que nous désignons ici sous les noms de *marnes et calcaire oxfordiens*, ont chacune de 15 à 30 mètres de puissance; mais elles s'agrandissent l'une aux dépens de l'autre; les marnes oxfordiennes, très épaisses dans les régions littorales, s'amincissent beaucoup dans les régions pélagiennes, tandis que le calcaire oxfordien, presque à l'état rudimentaire dans les localités littorales, prend un développement considérable dans les régions de hautes mers. Fossiles principaux: *Ammonites cordatus, A. polyplocus, Gryphæa dilatata, G. gigantea, Pecten fibrosus, Pholadomya exaltata, P. paucicostata, P. cardissoïdes, Trigonia clavellata, Terebratula Thurmanni, T. insignis, Dysaster propinquus, Spongites reticulatus, S. lamellosus, Cnemidium Goldfusii.* — 4° *Calcaire corallien* (*terrain à chailles* de Franche Comté, en partie). Le calcaire oxfordien passe insensiblement à l'assise suivante, soit en prenant une

texture cristalline, due à la présence des polypiers, soit en se pénétrant de silice et de matière ferrugineuse. Cette assise est tantôt constituée par un calcaire compacte, grisâtre, quelquefois bleuâtre, à cassure esquilleuse, fréquemment pénétré de polypiers plus ou moins distincts et prenant alors une texture saccharoïde; tantôt, elle se compose d'argiles sableuses, jaunâtres, avec chailles; à mesure que l'on s'avance vers les régions pélagiennes, ces argiles diminuent rapidement de puissance et finissent par disparaître complétement. La silice forme la substance des polypiers et de quelques fossiles, elle s'agglomère à l'état de chailles ou de rognons calcédonieux et apparaît à l'état d'orbicules siliceux. Les fossiles se montrent en grand nombre; ce sont notamment des polypiers en bancs très étendus ou des crinoïdes dont on voit encore les racines en place, comme à La Vèze, près de Besançon. Les principales espèces sont: *Serpula gordialis, S. Ilium, Ostræa gregarea, Lima rigida, Rhynchonella Thurmanni, R. inconstans, Terebratula insignis, Glypticus hieroglyphicus, Cidaris cervicalis, C. florigemma, C. Blumenbachii, Dysaster ovalis, Millericrinus rosaceus, Apiocrinus rotundus, Pentacrinus scalaris,* plus les polypiers que l'on retrouve dans les assises suivantes. — 5° *Oolite corallienne.* Cette assise est formée de calcaires compactes, grisâtres ou blanchâtres, avec pisolites et oolites tantôt uniformes, tantôt de grosseur inégale; quelquefois ces oolites constituent à elle seules des bancs entiers. Les fossiles sont peu nombreux et ordinairement triturés. Les polypiers tels que *Thamnastrea fasciculata, Microsolena tenuistriata*, etc., forment des bancs considérables. — 6° *Calcaire à nérinées et à diceras.* Calcaire tantôt compacte, tantôt crayeux, quelquefois oolitique; contenant dans certaines localités des polypiers (*Thamnastrea dendroïdea,*

Aplosmilia elegans), et, dans d'autres, des fossiles brisés et roulés, tels que des nérinées (*Nerinea Bruntrutana*) et des diceras (*Diceras arietina*) se montrant parfois en grande abondance. Les trois dernières assises, qui constituent le terrain corallien, ont une puissance totale qui varie de 50 à 100 mètres.

Le système oolitique moyen dans les autres parties de la France. — L'*argile de Dives* (Calvados), correspondant à celle d'Oxford, constitue un dépôt considérable d'argiles grasses, bleu noirâtre, rarement jaunâtres, quelquefois endurcies, à cassure conchoïde. Cette argile, excessivement riche en débris de corps organisés, repose sur un calcaire marneux, gris jaunâtre ou bleuâtre, représentant le *Kelloway-rock*. Elle supporte des bancs peu épais de calcaire oolitique plus ou moins marneux. Le terrain corallien, qui vient après, se divise en trois assises : une assise *inférieure*, formée d'un calcaire oolitique, passant à un grès calcaire; une assise *moyenne*, constituée par un calcaire pétri de polypiers; une assise *supérieure*, comprenant le *calcaire de Blangy* et passant insensiblement au dépôt arénacé du terrain oolitique supérieur.

Essentiellement argileux et de teinte gris bleuâtre plus ou moins foncée dans le Bas Boulonnais et le Calvados, le terrain oxfordien devient calcaréo-sableux ou tout à fait siliceux et jaunâtre dans le Maine. Au sud de la Loire, il est représenté par des calcaires blancs, marneux, d'une texture uniforme, et seulement un peu plus argileux vers le bas. A l'est de la Loire, il tend à reprendre ses caractères du nord et de l'Angleterre. Dans les départements de l'Yonne, de l'Aube, de la Haute Marne, de la Côte d'Or, et surtout dans ceux de la Meuse et des Ardennes, il redevient tout à fait argileux et de teinte gris bleuâtre foncé. — Le terrain corallien du Bas Boulonnais, sur une

dizaine de mètres d'épaisseur seulement, présente cependant trois assises assez distinctes. Plus aminci, ou manquant peut-être tout à fait vers l'embouchure de la Seine, il montre ses trois principales assises dans le Calvados. Ses caractères se modifient lorsqu'on remonte vers le plateau de Mortagne. Plus au sud, quelques affleurements, qui percent les dépôts crétacés, semblent rattacher les dernières couches du terrain corallien du Maine aux calcaires en plaquettes et aux calcaires blancs des bords de la Creuse, de l'Indre et du Cher. Les polypiers, si peu développés en Normandie et dans le Maine, y apparaissent avec les dicérates et les nérinées, qui manquent presque complétement en Angleterre, et dont l'abondance et la variété augmentent à mesure qu'on s'avance vers l'est. Le terrain corallien, avec ses diverses assises, se poursuit sur le bord occidental du bassin anglo-parisien, mais c'est surtout dans le département de la Meuse que la puissance du coral-rag (près de 300 mètres), sa composition variée, la richesse de sa faune, méritent surtout de fixer l'attention. (D'Archiac.)

Dans les départements du Gard et de l'Hérault, le système oolitique moyen présente la disposition suivante. Le terrain oxfordien comprend : 1° Des *marnes grises feuilletées*, avec fossiles nombreux et à l'état de fer hydraté; 2° des *calcaires marneux*, alternant avec des marnes grises, se délitant en boules et en polyèdres ; 3° un *calcaire gris bleuâtre*, compacte, à pâte fine, à cassure conchoïde, en bancs très réguliers qui imitent les marches d'un escalier ; les fossiles y sont rares ; 4° des *calcaires gris clair* plus ou moins jaunâtres, compactes, passant quelquefois à la dolomie. Au dessus vient l'étage corallien constitué surtout par un *calcaire blanchâtre*, compacte, presque saccharoïde, avec polypiers, nérinées et *Diceras arietina*.

Le système oolitique moyen occupe une zone plus ou moins

large, depuis l'île de Ré jusque dans le Lot et Garonne; sur les bords de l'Océan, le *coral-rag* est bien caractérisé et très riche en fossiles. Ce même système persiste sur le versant sud-est du plateau central; à la Voulte (Ardèche), il montre à sa base des couches de minerai de fer oxydé rouge ou carbonaté lithoïde alternant avec des marnes à posydonies. Dans le Dauphiné, le groupe oolitique moyen comprend trois assises: 1° *Marnes à posydonies*, schisteuses, noirâtres. 2° *Marnes avec petites ammonites ferrugineuses*, composées de calcaires plus ou moins marneux, avec géodes siliceuses. 3° *Calcaire gris compacte* (dit de *la Porte de France*, à Grenoble), souvent imprégné de carbone, pénétré de veines de calcaire spathique et renfermant la *Terebratula diphya*.

L'oolite moyenne en Angleterre. — L'oolite moyenne, en Angleterre, se compose des assises suivantes: — 1° Le *Kelloway-rock* (Kelloway, près de Chipenham, dans le Wiltshire). Cette assise, dont l'épaisseur moyenne est de 8 à 10 mètres, est constituée par un grès argileux rempli de nodules ferrugineux vers la partie supérieure. Les fossiles s'y montrent très nombreux; les principaux sont: *Ammonites calloviensis, A. sublævis, Belemnites abbreviatus, Trochus guttatus, Avicula inæquivalvis, Terebratula ornithocephala, Trigonia costata*, etc. — 2° L'*Oxford-clay* (*clunch-clay*, Smith). Cette assise, dont la puissance varie de 50 à 150 mètres, constitue la base des collines qui entourent Oxford. Elle est exclusivement formée de marnes argileuses tenaces, très effervescentes, parfois bitumineuses, bleu foncé, devenant brunes à l'air et contenant des *septaria* (*turtle-stone* ou pierre de tortue). Fossiles principaux: *Ammonites Duncani, A. perarmatus, Belemnites hastatus, Perna mytiloïdes, Trigonia clavellata, Gryphæa*

dilatata, Ostræa palmata. — 3° *Lower calcareous grit.* Cette assise, qui a une épaisseur moyenne de 20 mètres, constitue un dépôt de sable quartzeux jaune avec un tiers de calcaire, enveloppant des concrétions endurcies, silicéo-calcaires, disposées par lits. Fossiles : *Ammonites excavatus, A. vertebralis, A. cordatus, Trochus bicarinatus, Pecten fibrosus, Ostræa gregarea, Cidaris diadema, Clypeus clunicularis.* — 4° *Coral-rag* (*coralline-oolite*). Cette assise, dont la puissance varie de 20 à 40 mètres, peut se diviser en trois sous-assises d'égale épaisseur. La première n'offre que des polypiers, des nodules de chaux carbonatée et du calcaire terreux, le tout réuni par une argile tenace, jaunâtre, ou d'un bleu pâle. La seconde sous-assise est composée de calcaires noduleux, brunâtres, jaunâtres ou blanc bleuâtre, à cassure terreuse, remplis de fragments de coquilles et d'échinodermes. Dans la variété appelée *pisolite,* les concrétions ont jusqu'à 8 millimètres de diamètre. La troisième sous-assise (*Oxford-oolite,* Fitton) comprend un calcaire oolitique, coquillier, solide, employé comme dalles, et un calcaire terreux, tendre, sans solidité, à peine oolitique. Les fossiles les plus fréquents sont : *Belemnites abbreviatus, Turbo muricatus, Phasianella striata, Trigonia costata, Perna aviculoïdes, Pecten fibrosus, Ostræa gregarea, Cidaris coronata, C. florigemma, C. Blumenbachii.*

Le système oolitique moyen présente dans le bassin jurassien et en Angleterre la même disposition. L'assise du calcaire argovien, que nous n'avons pas signalée en Angleterre, y est représentée par le groupe que J. Phillips désigne dans le Yorkshire sous le nom de couches de passage entre l'*Oxford-clay* et le *calcareous grit ;* celui-ci correspond au calcaire corallien inférieur de la Franche-Comté, tandis que le *coral-rag* de l'Angleterre reproduit tous les accidents pétro-

graphiques et paléontologiques du calcaire corallien du Jura.

Le système oolitique moyen en Allemagne. — Dans le Wurtemberg et la Bavière septentrionale, ce système prend un grand développement qui compense la perte qu'éprouve le terrain jurassique en Allemagne par l'absence de la grande oolite et du *forest-marble*. On peut y reconnaître trois assises: 1° *L'oolite ferrugineuse* (*Jura brun*, ε), constituée par un calcaire marneux, avec oolites ferrugineuses et nombreux fossiles, correspondant au *Kelloway-rock*. —2° *L'argile à Ammonites ornatus* (Jura brun, ζ), qui représente l'*Oxford-clay*. — 3° Le *calcaire argilo-marneux à Terebratula impressa* (*Jura blanc*, α), avec fossiles siliceux et amas de fer sulfuré. — 4° Les *calcaires en bancs réguliers* (β), affectant la disposition de murailles verticales et constituant par excellence la zone des sources. – 5° Les *couches à spongiaires* et *à Terebratula lacunosa* (γ), comprenant des calcaires marneux, gris bleu. — 6° Une assise (δ), puissante de 100 à 200 mètres, que l'on rapporte au terrain à chailles de la Franche-Comté et qui se compose de calcaires compactes passant à un grès foncé. — 7° Cette série se termine par l'assise (ε) qui correspond au terrain corallièn. Cette assise, où les polypiers et les radiaires dominent, se compose de calcaires très variables sous le rapport de leur texture et de leurs nuances, quelquefois magnésiens. Ce sont ces calcaires qui constituent les rochers aux formes bizarres couronnant l'albe du Wurtemberg.

Dans le nord-ouest de l'Allemagne, l'étage oxfordien, tout en offrant ses principaux fossiles, n'existe qu'à l'état rudimentaire et se confond souvent avec les assises les plus élevées du terrain oolitique inférieur. Le terrain corallien, plus développé, se divise en trois sous-étages : l'étage moyen comprend un cal-

caire presque exclusivement composé de polypiers ; les deux autres étages montrent surtout des calcaires fréquemment oolitiques, quelquefois sablonneux, accompagnés de grès. Ce terrain se complète par une assise puissante de dolomie qui, sur quelques points, affecte une disposition ruiniforme, semblable à celle du *quadersandstein* de la Suisse saxonne.

XIII. — SYSTÈME OOLITIQUE SUPÉRIEUR.

Synonymie; division en étages. — Le système oolitique supérieur se divise en quatre étages :

I. — Étage *séquanien* (Séquanie ou Franche-Comté), comprenant : *l'étage astartien*, Thurmann et les *marnes et calcaires à astartes* du Jura. Il est difficile de synchroniser cet étage avec les diverses formations qui peuvent lui correspondre en Allemagne, dans le bassin jurassien et en Angleterre : il est probable que, dans ce dernier pays, l'étage séquanien est représenté par le *calcareous grit* supérieur.

II. — Étage *kimméridien* (Kimmeridge, en Angleterre), comprenant : *l'étage kimméridgien*, d'Orbigny; les *marnes et les calcaires à ptérocères* du Jura; *l'étage ptérocérien*, Thurmann; *l'argile de Honfleur;* le *Kimmeridge-clay* des Anglais; le *Jura blanc* (ξ), en partie, Quenstedt; la *zone à Pteroceras Oceani,* en partie, Oppel.

III. — Étage *portlandien* (Portland, en Angleterre), comprenant : *l'étage portlandien*, d'Orbigny; *l'étage virgulien,* Thurmann ; les *marnes et les calcaires à exogyres* du Jura; le *Portland-sand* et le *Portland-stone* des Anglais; le *Jura blanc,* partie supérieure, Quenstedt; la *zone à Trigonia gibbosa,* Oppel; les *schistes de Solenhofen.*

IV. — Étage *purbeckien* (Purbeck, en Angleterre), com-

prenant les formations lacustres ou fluvio-marines qui terminent fréquemment la série jurassique.

Tous les géologues ne limitent pas de la même manière le groupe oolitique inférieur et les étages dont il se compose. M. Marcou, influencé par cette idée que, dans le haut Jura, le terrain corallien tend à se confondre avec les étages suivants en un même massif calcaire, le comprend dans le groupe oolitique supérieur. M. Contejean, après avoir réuni toutes les assises dont se compose le groupe oolitique supérieur sous la désignation collective d'*étage kimméridien*, fait commencer cet étage avec le calcaire corallien supérieur. D'autres géologues, au contraire, comprennent dans le terrain corallien les marnes et les calcaires à astartes que nous inscrivons dans notre classification sous le nom d'*étage séquanien*.

Mers de la période oolitique supérieure, lacs supra-oolitiques. — Pendant la période oolitique supérieure, les eaux océaniennes, réparties dans des bassins de plus en plus resserrés, formaient trois mers distinctes, ne communiquant entre elles par aucun point. Les départements du Lot, de la Charente Inférieure, et de la Charente, sont les seuls, dans le sud-ouest de la France, où se montre le groupe oolitique supérieur; dans ces départements commençait une mer qui se prolongeait vers l'ouest jusqu'à une distance qu'il ne nous est pas donné de connaître; c'est cette mer que l'on a désignée sous le nom de *bassin pyrénéen*. Le *bassin anglo-parisien* couvrait une partie de l'Angleterre et du nord de la France; il se trouvait compris entre le massif ardenno-vosgien, le plateau central, le massif breton et le pays de Galles; il était limité par une ligne qui, en France, passait à travers les départements du Calvados, de l'Orne, de l'Indre, du Cher, de la Nièvre, de l'Yonne, de l'Aube

et de la Meuse; une zone d'oolite supérieure traverse ces départements. Ce terrain se montre encore, vers la partie centrale du bassin anglo-parisien, dans le Boulonnais et le pays de Bray, où il a été porté au jour, à la suite des dislocations de l'écorce terrestre. Le *bassin jurassien* occupait le fond d'une dépression ayant pour limites les Alpes, les montagnes du Lyonnais, celles du Beaujolais, la Côte d'Or et les Vosges. Il se prolongeait vers le centre de l'Allemagne.

Une dernière impulsion a eu pour effet de mettre ces trois bassins à sec ou du moins d'en chasser les eaux salées. A ces mers de la période oolitique supérieure ont succédé, dans chacun des bassins que nous venons de mentionner, des lacs qui ont reçu les strates lacustres supra-oolitiques du Jura, de la Charente, de l'Angleterre et du Hanovre.

Faune et pétrographie de l'oolite supérieure. — Dans le massif jurassien, le terrain oolitique inférieur est formé d'alternances d'assises marneuses et d'assises calcaires; mais celles-ci sont beaucoup plus puissantes et la composition de ce terrain dans cette région est plutôt calcaire que marneuse. A mesure qu'on se rapproche de l'Allemagne, les assises marneuses diminuent d'épaisseur, puis elles finissent par disparaître presque complétement. Ces calcaires blancs, constituant presque à eux seuls le terrain oolitique supérieur, forment l'immense plateau de l'Albe qui s'étend entre la vallée du Neckar et celle du Danube, et dont la plus grande partie est désignée sous le nom de *Rauh alp* (albe stérile). Si du Jura on se dirige vers le nord-ouest, la composition de l'oolite supérieure devient, au contraire, de plus en plus marneuse jusqu'à ce que, en Angleterre, ce terrain se montre en majeure partie constitué par la puissante masse marneuse du *Kimmeridge-clay*.

La faune de l'oolite supérieure présente peu de caractères saillants. Les polypiers, les ammonites et les bélemnites y sont un peu moins répandus que dans les autres groupes de la série jurassique; les acéphales et les gastéropodes prennent un certain développement. Parmi les gisements de fossiles de l'oolite supérieure, je mentionnerai : 1° Les *schistes de Solenhofen*, dans la Bavière, si célèbres par l'abondance et la parfaite conservation des fossiles qu'on y a rencontrés et qui ont fourni de nombreuses espèces de ptérodactyles, de sauriens, de tortues, de poissons et d'insectes; 2° le *lit de boue, dirt-bed*, de Purbeck, où l'on a recueilli d'abondants débris de plantes, d'insectes, de reptiles et les restes de mammifères dont on a fait sept genres nouveaux, tels que les *Triconodon* et *Plagiaulax*.

Le système oolitique supérieur dans le bassin jurassien. — Dans le Jura, ce terrain peut se partager ordinairement en six assises alternativement marneuses et calcaires et disposées de telle sorte que chacun des étages séquanien, kimméridien et portlandien comprend une assise marneuse et une assise calcaire. Les marnes, comme les calcaires, offrent le même aspect, et les diverses assises que ces roches constituent ne peuvent se distinguer entre elles que par leurs fossiles et leur ordre de superposition. Les marnes sont grisâtres ou blanchâtres, sableuses, plus ou moins grossières; les calcaires sont compactes et de couleur claire. Ces six assises sont : 1° Les *marnes séquaniennes* ou *à astartes*, constituant des bancs qui alternent avec des grès schistoïdes et des calcaires en plaques recouvertes d'astartes et de petites turritelles. Les fossiles sont nombreux sur certains points et forment quelquefois lumachelle. Les principaux d'entre eux sont : *Ammonites Achilles, Natica macrostoma, Ceromya inflata, Trigonia suprajurensis, My-*

tilus jurensis, *Astarte minima* (*A. gregarea*, *A. supra-corallina*), *Ostræa Sequana*, *O. solitaria*, *O. sandalina*, *Exogyra Bruntrutana*, *Apiocrinus Meriani*. — 2° *Calcaire séquanien* ou *à astartes*; calcaire compacte, grisâtre avec taches jaunâtres, offrant des parties spathiques et renfermant quelquefois de grosses oolites. Cette assise présente, dans plusieurs localités, des bancs de polypiers dont quelques espèces se trouvent déjà dans le terrain corallien. Fossiles : *Nautilus giganteus*, *Ammonites Achilles*, *Nerinea gosæ*, *N. Mosæ*, *N. Bruntrutana*, *Cardium corallinum*, *Astarte minima*, *Ostræa solitaria*, *Exogyra Bruntrutana*, *E. virgula*. — 3° *Marnes kimméridiennes* ou *à ptérocères*, semblables aux marnes séquaniennes, mais plus sableuses, moins puissantes et ne renfermant plus d'amas ferrugineux. Fossiles : *Nautilus giganteus*, *Ammonites Achilles*, *A. gigas*, *Nerinea Gosæ*, *Pteroceras Oceani*, *Pholadomya Protei*, *Ceromya excentrica*, *Mytilus jurensis*, *Ostræa solitaria*. — 4° *Calcaire kimméridien* ou *à pterocères*, complétement analogue au calcaire séquanien. Fossiles : *Natica hemisphærica*, *N. macrostoma*, *Nerinea Gosæ*, *N. Bruntrutana*, *Pteroceras Oceani*, *Ostræa solitaria*, *Exogyra Bruntrutana*, *E. virgula*. — 5° *Marnes portlandiennes* ou *à exogyres*, jaunâtres ou grises, avec taches blanchâtres, alternant avec quelques assises marno-calcaires. Les principaux sont : *Nautilus giganteus*, *A. longispinus*, *Natica hemisphærica*, *Pteroceras Oceani*, *Nerinea trinodosa*, *N. grandis*, *Pholadomya acuticostata*, *Trigonia concentrica*, *O. solitaria*, *Exogyra virgula*, *E. Bruntrutana*. — Calcaire *portlandien* ou *à exogyres*. Ce calcaire, semblable à ceux des assises précédentes, présente quelquefois, surtout aux environs de Gray, des perforations ou tubulures qui, ainsi que M. Perron l'a démontré, occupent la place de polypiers disparus. Sur tout le Jura, cette assise se termine

par des calcaires plus ou moins magnésiens, en couches presque schistoïdes, à texture compacte et quelquefois subcristalline, avec nombreuses dendrites sur les plans de clivage : c'est cette partie de l'assise que l'on a désignée sous le nom de *dolomie portlandienne*. Une autre partie de cette assise a reçu le nom de *groupe nérinéen* à cause du grand nombre de nérinées qu'elle renferme. Fossiles principaux : *Nerinea gosæ, N. Bruntrutana, N. grandis, N. trinodosa, Pteroceras Oceani, Pholadomya acuticostata, Astarte gregarea, Trigonia gibbosa, Ostræa solitaria, Exogyra virgula, E. Bruntrutana, Hemicidaris Purbeckensis.*

Le système oolitique supérieur dans les autres parties de la France. — En France, le terrain oolitique supérieur forme une zone continue qui se prolonge depuis le département des Ardennes, jusque dans le département du Cher. Ce terrain se montre à peine sur le bord oriental du massif breton ; il ne reparaît que dans le Calvados, où l'*argile de Honfleur* avec *Exogyra virgula* représente le *Kimmeridge-clay*. On en retrouve encore des affleurements vers l'embouchure de la Seine, dans le pays de Bray et dans le Boulonnais.

Le terrain oolitique supérieur ne se prolonge pas au delà de l'extrémité méridionale du Jura ; il paraît manquer dans tout le midi de la France (1). On le retrouve dans le Lot, la Charente et la Charente Inférieure. Dans ce dernier département, ce terrain débute par une argile schisteuse, avec cal-

(1) M. Coquand rattache au terrain oolitique supérieur une masse très puissante de *calcaires sans fossiles* placés entre le calcaire corallien à *Diceras arietina* et le calcaire infra-néocomien à *Strombus Sautieri*. Ces calcaires, que l'on observe dans les environs de Marseille, se terminent par une dolomie portlandienne qui, à la Nerthe, atteint plus de 100 mètres d'épaisseur.

caire sableux ou oolitique. Une deuxième assise, correspondant au *Kimmeridge-clay*, comprend des marnes schistoïdes, grisâtres, recouvertes par un calcaire marneux, blanc jaunâtre. Ces deux premières assises, dont l'épaisseur totale est de 80 mètres, renferment de nombreux fossiles et notamment *Exogyra virgula, Ostræa solitaria*, *Natica macrostoma, Pteroceras Oceani*. Au dessus vient une dernière assise, épaisse de 70 mètres environ, comprenant des calcaires dont la texture varie beaucoup et qui sont quelquefois tubulaires. Cette assise, que l'on considère comme l'équivalent du *Portland-stone* renferme, entre autres fossiles, *Ammonites rotundus, Nerinea Bruntrutana, Trigonia gibbosa, Ostræa Bruntrutana.*

Système oolitique supérieur en Angleterre. — Dans ce pays ce système peut se diviser en trois étages qui correspondent assez exactement à ceux que nous avons distingués dans le Jura. Le premier étage est constitué par le *calcareous grit supérieur*, qui se compose d'argile ferrugineuse un peu oolitique et de sable ferrugineux ; on retrouve dans cet étage une partie des fossiles du *calcareous grit inférieur*. C'est dans le district de Weymouth et dans les îles de Portland et de Purbeck que les deux autres étages atteignent tout leur développement. L'*argile de Kimmeridge, Kimmeridge-clay*, ainsi nommée de la baie de Kimmeridge, dans l'île de Purbeck, est principalement composée d'argiles schisteuses, bitumineuses, renfermant des *septaria* et des pyrites de fer dont la décomposition donne lieu à des pseudo-volcans. Cet étage atteint sur certains points jusqu'à 200 mètres de puissance. Ses principaux fossiles sont : *Ammonites rotundus*, *Pleurotomaria elongata*, *Trigonia elongata, Ostræa deltoïdea*, *Exogyra virgula*. On distingue dans le troisième étage deux assises : 1° le *Portland-sand*, qui

n'a pas moins de 25 mètres d'épaisseur, et qui se compose de marnes sableuses alternant avec des grès; les principaux fossiles sont : *Ammonites giganteus, A. triplex, Ostræa lævigata, Gryphæa nana, Trigonia clavellata, Serpula plexus.* 2° Le *Portland-stone,* comprenant un calcaire tantôt compacte, tantôt oolitique, avec silex gris vers la partie inférieure. Cette assise renferme un banc d'où l'on extrait une pierre d'appareil très renommée en Angleterre. Les principaux fossiles sont: *Ammonites biplex, Cerithium excavatum, Perna quadrata, Pecten lamellosus, Trigonia gibbosa, Cucullæa crassatina, Cardita pectuncularis, Crassatella compressa.*

Le système oolitique supérieur en Allemagne. — Dans le Wurtemberg et la Bavière, ce système offre un médiocre développement et n'a pas encore présenté aux géologues de divisions nettement tracées. C'est à ce système, en totalité composé de roches calcaires, qu'appartiennent les *couches à crustacés* du Wurtemberg et le calcaire schisteux de Solenhofen, dans la Bavière; ce dernier est très recherché pour la lithographie.

Le système oolitique supérieur existe aussi dans le nord-ouest de l'Allemagne, où il est représenté notamment par des calcaires blanchâtres, tantôt compactes, tantôt oolitiques, avec *Exogyra virgula, Pteroceras Oceani, Ammonites giganteus.* Ces calcaires supportent quelquefois des calcaires magnésiens, et, plus haut, des couches à *Serpula coacervites.*

Formations lacustres supra-oolitiques. — La *formation de Purbeck,* qui a une puissance de 50 mètres environ, peut s'observer avec facilité sur les falaises qui, dans le Dorsetshire, accompagnent la côte comprise entre Weymouth et Swanage. Elle débute par une couche lacustre qui possède des caractères minéralogiques

tout à fait semblables à ceux du *Portland-stone* sur lequel elle repose. La formation de Purbeck paraît être d'origine fluvio-marine; elle se compose de marnes et de calcaires constituant des couches qui ont été reçues les unes dans des eaux douces, les autres dans des eaux marines ou saumâtres. Forbes, en se basant sur l'étude des espèces, a été conduit à diviser cette formation en trois groupes. Le *groupe inférieur* est caractérisé par la *Cypris Purbeckensis* et une serpule semblable à la *Serpula coacervites* des lits du même âge du Hanovre. Le *groupe moyen* contient la *Cypris fasciculata* avec la *Physa Bristowii*, et le *groupe supérieur* la *Cypris gibbosa*. C'est vers la base du groupe moyen que se trouve le fameux *lit de boue* (*dirt bed*). Vers la partie moyenne existe la couche dite *lit de cendre* (*cinder-bed*), formée d'une agglomération d'*Ostræa distorta*; cette couche contient un échinoderme appartenant au genre *Hemicidaris*, caractéristique de la période oolitique, et à une espèce (*H. Purbeckensis*) qui se distingue à peine d'une autre espèce du terrain oolitique déjà connue. (Lyell.)

Sous le nom de terrain *lacustre supra-oolitique* (*marnes de Villars*, Renevier; *terrain dubisien* de quelques géologues suisses), nous désignons une formation contenant des fossiles d'eau douce, reposant toujours, dans le Jura, sur la dolomie portlandienne et servant de base au terrain néocomien, excepté dans les régions basses du Doubs et dans la Haute Saône, où le terrain néocomien repose directement sur le terrain jurassique. Ce terrain se prolonge depuis Neuchâtel jusqu'à Belley; sa puissance moyenne est de 15 mètres. Il se compose de marnes argileuses, grumeleuses, d'un gris un peu foncé, tirant sur le verdâtre, et de calcaires gris, compactes, qui alternent avec les marnes et finissent par dominer à la partie supérieure. Les environs de Villars le Lac ont fourni de nombreux débris de

corps organisés présentant un mélange de formes terrestres (tortues), d'eau douce, telles que *Physa Bristowii*, *P. wealdiana*, *Planorbis Loryi*, saumâtres, telles que *Corbula alata*, et enfin marines, telles que gastéropodes indéterminés et poissons; on y a rencontré également des gyrogonites. A la Brévine, à la Rivière, à Foncine, etc., le terrain lacustre supra-oolitique contient des amas de gypse exploité, avec dolomies cloisonnées et marnes bigarrées (1).

Le terrain lacustre supra-oolitique se retrouve dans le Hanovre, où il acquiert une grande puissance et dans le département de la Charente. Les formations, en totalité ou en partie lacustres, qui viennent d'être mentionnées sont synchroniques entre elles; pourtant la présence, dans le terrain portlandien de la Franche-Comté, de l'*Hemicidaris Purbeckensis* qui se retrouve dans la formation de Purbeck, permet de penser que la partie inférieure de cette formation pourrait bien correspondre à la partie supérieure du terrain portlandien du Jura (2).

(1) C'est en 1847 que l'existence des strates comprises dans le Jura entre le calcaire portlandien et le terrain néocomien fut signalée pour la première fois par M. Pidancet. C'est en 1849 que M. Lory rencontra dans ces strates des fossiles d'eau douce et reconnut ainsi que les terrains jurassique et crétacé sont séparés par une formation lacustre.

(2) Dans la description du terrain jurassique, je me suis principalement aidé de l'*Histoire des progrès de la géologie*, tome VI et VII, par M. d'Archiac; j'ai fait de fréquents emprunts à cet ouvrage si utile pour les géologues. En ce qui concerne spécialement le Jura, j'ai eu recours aux travaux de M. Marcou. Les détails relatifs à la faune des cinq systèmes de la série jurassique sont empruntés, en partie, au *Traité de Paléontologie* de M. Pictet.

SÉRIE CRÉTACÉE.

La série crétacée correspond à la troisième des cinq oscillations qui ont été imprimées au sol de l'Europe depuis les premiers temps géologiques jusqu'à nos jours. Le nom de *crétacé* (de *creta*, craie) a été introduit dans la science, en 1808, par M. d'Omalius d'Halloy.

La série crétacée se divise en trois systèmes : SYSTÈME CRÉTACÉ INFÉRIEUR, SYSTÈME CRÉTACÉ MOYEN, SYSTÈME CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

Distribution géographique; mers de la période crétacée. — La mer, un instant chassée de la France et, peut-être aussi, de toute l'Europe, pendant le dépôt du terrain lacustre supra-oolitique, a recouvert, immédiatement après, la majeure partie de l'espace qu'elle occupait auparavant; avec cet événement a coïncidé le commencement de la période crétacée. Les eaux marines, vers le commencement de cette période, avaient à peu près le même mode de répartition que vers la fin de la période jurassique. Elles formaient, en France et dans les régions voisines, trois bassins distincts. Le bassin *anglo-parisien* était limité par les Vosges, le plateau central et le massif anglo-breton; le *bassin pyrénéen* se développait au sud du plateau central et recouvrait toute la vallée actuelle de la Garonne, ainsi qu'une partie de la région pyrénéenne; un troisième bassin, plus resserré que les précédents, contournait le massif

alpin en laissant, à l'ouest, le plateau central et, au nord, le massif vosgien. Cette similitude entre le mode de répartition des mers pendant les deux périodes jurassique et crétacée démontre bien que le mouvement oscillatoire résulte d'une impulsion d'ensemble qui, chaque fois qu'elle se manifeste, respecte la configuration générale du sol. Tout ce qui, au commencement de la période crétacée se trouvait au dessus des eaux, représentait la totalité des acquisitions définitivement faites sous l'influence du mouvement d'intumescence. C'étaient les massifs montagneux actuels que des isthmes de terrain jurassique rattachent entre eux et qui sont tous entourés d'un ourlet constitué par le même terrain.

La mer ne s'est montrée vers le commencement de la période crétacée que pour reprendre ensuite un mouvement de retrait et occuper un espace de moins en moins étendu. La période crétacée s'est terminée, comme la période jurassique, par un soulèvement général du sol, et, comme elle, a eu sa sous-période continentale.

Climat, faune et flore de la période crétacée. — Le climat de la période crétacée paraît avoir été à peu près le même que celui de la période jurassique. Pourtant, pendant la période crétacée, la température a dû être un peu moins élevée et les pluies un peu plus abondantes que pendant la période antérieure. Cette opinion est basée sur l'importance plus grande prise par les grès et les roches détritiques dans la composition du terrain crétacé, sur les changements subis par la faune et la flore et sur le moindre développement des polypiers et surtout des polypiers édifiant des récifs.

J'ai déjà résumé les principaux caractères de la faune et de la flore de la période crétacée (*antè*, page 315); je me bornerai

à dire quelques mots des rudistes. Cette famille de brachiopodes comprend les cinq genres *Hippurites, Caprina, Caprinula, Caprinella* (anciennement *Ichthyosarcolites*), *Radiolites* et *Caprotina*. Elle est complétement spéciale à la période crétacée et se montre pour la première fois avec l'époque urgonienne. Elle disparaît momentanément pendant les époques aptienne et albienne pour se montrer de nouveau avec l'époque cénomanienne et persister jusqu'à la fin de la période crétacée. L'étude de la répartition chronologique des espèces appartenant à cette famille a conduit à distinguer dans la série crétacée des niveaux où elles prennent un développement considérable ; le nombre de ces niveaux ou de ces *horizons de rudistes* est en proportion de celui des étages que l'on distingue dans la série crétacée. Tandis qu'Alc. d'Orbigny n'admettait que quatre horizons de rudistes, M. Coquand en reconnaît huit; notre classification en indique cinq (1). Les rudistes vivaient, comme les huîtres, par groupes et formaient des bancs puissants dans toutes les mers de l'Europe, excepté dans le bassin anglo-parisien qu'elles paraissent avoir à peine habité ; cette particularité de leur distribution géographique provient sans doute de ce que la température était moins élevée dans le bassin anglo-parisien que dans les bassins pyrénéen et méditerranéen.

(1) Les horizons de rudistes, que nous ajoutons à ceux admis par Alc. d'Orbigny, correspondent à l'étage provencien que ce géologue ne distinguait pas de l'étage turonien, et à la craie de Maëstricht qu'il réunissait à l'étage sénonien. Dans la classification de M. Coquand, il y a deux horizons de plus que dans la nôtre à cause du dédoublement qu'il fait subir aux étages cénomanien et sénonien. Chacun des horizons de rudistes porte le nom de deux ou trois espèces, mais il ne faut pas oublier que ces espèces peuvent se rencontrer aussi dans l'horizon qui précède ou dans celui qui suit.

XIV. — SYSTÈME CRÉTACÉ INFÉRIEUR.

Synonymie; division en étages. — « Bourguet, Saussure et L. de Buch sont les premiers observateurs qui aient attiré l'attention des géologues sur les roches des environs de Neuchâtel, et, quoique ces illustres savants aient confondu les *calcaires jaunes* avec les autres formations jurassiques, il est cependant digne de remarque qu'à une époque où la plupart des principes géologiques étaient inconnus, Saussure regardait ces calcaires comme l'*écorce des roches du Jura*. L. de Buch, qui les appelait *couches adossées contre le pied des montagnes du Jura*, disait que ces roches paraissent s'être formées après les bouleversements principaux de ces montagnes. Mais le premier géologue qui ait véritablement étudié, avec le secours des lumières de la géologie moderne, ces strates si célèbres depuis sous le nom de *roches néocomiennes*, est A. de Montmollin, de Neuchâtel. En 1835, après dix années de recherches, il publiait tous les renseignements qu'il avait pu recueillir sur ces strates, sous le titre de *Mémoire sur le terrain crétacé du Jura*. A. de Montmollin posait comme conclusion que ce terrain était postérieur au terrain jurassique et qu'il s'était déposé à peu près vers la même époque que le *green sand.* » (Marcou.) Avant de publier son travail, Montmollin avait fait part de ses découvertes à plusieurs géologues et notamment à M. Thirria. Pourtant, celui-ci ne mentionne pas, dans sa *Statistique de la Haute Saône*, le terrain récemment reconnu aux environs de Neuchâtel. Mais, pendant les deux années suivantes, il l'étudie, en collaboration avec Voltz, dans les vallées longitudinales du Jura, puis il publie le résultat de

leurs observations communes dans un mémoire sur le *terrain jura-crétacé*. « Ce terrain, dit-il, qui se lie au terrain jurassique et au terrain crétacé par ses caractères paléontologiques, forme vraisemblablement l'étage inférieur du dépôt du grès vert. Il se pourrait cependant qu'il constituât une formation distincte, située entre le terrain jurassique et le grès vert. » Depuis lors, les géologues ont considéré le terrain néocomien, les uns, comme étant distinct du *green sand*, les autres comme représentant ce *green sand*. Cette dernière opinion était, en 1841, celle des auteurs de la *Carte géologique de la France*, puisque sur cette carte une même couleur est affectée à ces deux terrains. Les progrès de la science ne permettent plus d'adopter, au moins sans modification, cette manière de voir : le terrain néocomien est représenté en Angleterre, non par le *green sand*, mais par les sables d'Hasting et l'argile du Weald. C'est en 1835 que Thurmann, pensant que le terrain jura-crétacé était un nouvel horizon géologique mal connu, ou n'existant pas en Angleterre sous la même forme que sur le continent, proposa de lui donner le nom de *néocomien* qui fut bientôt d'un emploi général (νέος, nouveau; κώμη, village; traduction grecque du mot Neuchâtel).

Le système crétacé inférieur se divise en deux étages :

I. — Etage *néocomien*, comprenant : le *calcaire à spatangues* de divers auteurs; l'*étage valanginien*, Desor; l'*étage néocomien* proprement dit, d'Orbigny; le *biancone* des Italiens; le *wealden formation* des géologues anglais, en partie; *l'hils conglomerat*, Rœmer.

II. — Etage *urgonien* (Orgon, Bouches du Rhône), comprenant : l'*étage urgonien*, d'Orbigny; l'*argile ostréenne*, Cornuel; le *calcaire à Chama;* le *wealden formation* des géologues anglais, en partie; l'*hilsthon*, Rœmer. Cet étage corres-

pond au *premier horizon* des rudistes et à la zone des *Caprotina ammonia, Radiolites neocomiensis* et *R. Lonsdalii.*

Faune et pétrographie du terrain crétacé inférieur. — La faune de la période crétacée inférieure conserve la majeure partie des caractères de la faune oolitique supérieure qui l'a immédiatement précédée; elle s'en distingue par la rareté des polypiers édifiant des récifs, et par le grand développement que prennent certains genres de la famille des ammonitidées qui ne s'étaient pas encore montrés. Le groupe des *Flexuosi*, parmi les ammonites, et, parmi les bélemnites, celui des *Dilatati*, à rostre aplati, sont spéciaux à la période crétacée inférieure. Pendant cette période ont eu lieu la disparition du genre *Toxoceras* et la première apparition des rudistes, ainsi que des genres *Crioceras, Scaphites, Hamites, Baculites* et *Heteroceras*. Le genre *Iguanodon* est presque spécial à la période crétacée inférieure.

Dans l'est et le sud-est de la France, le terrain crétacé inférieur ressemble complétement au terrain jurassique par son aspect, son allure et sa composition pétrographique; il est presque exclusivement composé de marnes et de calcaires; ceux-ci dominent dans le sud de la France et constituent presque à eux seuls tout l'étage urgonien. En Angleterre, où le terrain crétacé inférieur est représenté par l'argile du Weald et les sables d'Hasting, ainsi que dans le pays de Bray où ce terrain est composé de sables et d'argiles, les roches en majeure partie détritiques, prennent déjà un faciès que nous verrons, dans ces pays, devenir de plus en plus accentué à mesure que nous aurons à étudier des terrains moins anciens.

Distribution géographique; les mers de la période néocomienne. — Les

eaux marines qui, lors de la période néocomienne, ont envahi une partie de la France et des régions voisines, se sont concentrées dans deux bassins : le *bassin méditerranéen* et le *bassin anglo-parisien*. Aucun dépôt se rattachant au système crétacé inférieur n'a été signalé dans la région comprise entre le plateau central et les Pyrénées. Le *bassin méditerranéen* occupait la Bavière, la Suisse, le Jura, le Dauphiné et la majeure partie de la Provence et du Languedoc. Une bande étroite de terrain néocomien qui se prolonge de la Meuse jusqu'au Cher, en passant par Saint Dizier, Vassy, Auxerre et Sancerre, marque le rivage oriental du bassin anglo-parisien, qui se prolongeait vers l'ouest, mais dont les limites de ce côté ne peuvent pas être indiquées puisque le terrain néocomien n'y existe pas ou se trouve caché sous les formations plus récentes. La mer qui occupait ce bassin contournait peut-être le massif ardennais pour aller se mettre en communication avec celle qui recouvrait le Hanovre. Le rivage occidental de ce bassin devait se trouver très près de l'Angleterre, là où des formations alternativement marines et d'eau douce indiquent l'emplacement d'estuaires ou de régions basses qui étaient successivement recouvertes par les eaux douces et par les eaux salées. Le terrain néocomien se retrouve également dans quelques parties du sud et de l'est de l'Espagne, dans la Sardaigne, dans la Vénétie, en Crimée et sur le versant méridional du Caucase. Ces divers points, où se montre le terrain néocomien, autorisent à admettre l'existence d'une mer se prolongeant sans solution de continuité depuis le centre de l'Espagne jusqu'au sud de la Russie.

Le système crétacé inférieur dans le bassin du Jura. — Ce système comprend six assises qui sont : 1° Les *calcaires infra-néoco-*

miens, Lory (*roches d'Auberson*, Marcou), formant, en stratification concordante avec le terrain lacustre supra-oolitique du Jura, un massif dont les assises resemblent sous le rapport lithologique, à celles de la série jurassique. Les bancs calcaires alternent quelquefois avec des lits d'argile bleuâtre ou grisâtre. L'épaisseur de cette assise, qui n'est d'abord que de 15 mètres, atteint à Belley 50 mètres environ. Les fossiles sont peu nombreux; voici les plus caractéristiques: *Strombus Sautieri, Sigaretus Pidanceti, Natica Sautieri, Pteroceras pelagi, Pholadomya elongata*, *Toxaster Campichei*. — 2° *Limonite de Métabief*, Marcou (*calcaires roux du néocomien inférieur*, Lory). Calcaires de couleur rouge, brune et même jaunâtre, souvent lumachelliques ou finement oolitiques, en couches minces, avec oolites de limonite en quantité quelquefois suffisante pour donner lieu à des exploitations. Cette assise, qui manque ou est rudimentaire dans la Haute Saône et la partie occidentale du Doubs, augmente d'importance vers le sud; épaisseur moyenne à Neuchâtel : 15 mètres. Fossiles : *Ammonites Gevrilianus*, *Nerinea Marcousana*, *Pholadomya Scheuchzeri*, *Pygurus rostratus*, *Acrocidaris depressa*. — 3° *Marnes d'Hauterive*, près de Neuchâtel. Cette assise est composée de marnes bleues, quelquefois grises et jaunâtres, parfois subschistoïdes, toujours très fossilifères : Puissance moyenne, à Neuchâtel : 12 mètres. Fossiles : *Serpula quinquecostata*, *Belemnites pistilliformis*, *Ammonites bidichotomus*. *Nautilus pseudo-elegans*, *Plerotomaria neocomiensis*, *Corbis cordiformis*, *Janira neocomiensis*, *Ostræa macroptera*, *O. Couloni*, *Rhynchonella depressa*, *Toxaster complanatus*, *Diadema rotulare*. — 5° *Roches de l'Ecluse*, très développées dans le ravin de l'Ecluse, derrière le château de Neuchâtel. Calcaires jaunes, avec taches vertes de chlorite,

alternant vers le bas avec des marnes, et contenant vers le haut des rognons de silex blanc. Epaisseur moyenne à Neuchâtel : 15 mètres. Fossiles : *Cardium peregrinum*, *Pecten Gottaldinum*, *Ostræa Boussingaultii*, *Rhynchonella depressa*, plus la plupart des fossiles de l'assise précédente, à l'exception du *Toxaster complanatus;* ces fossiles sont accompagnés de serpules sociales et de polypiers spongiaires et rameux. — 5° *Calcaire jaune de Neuchâtel.* A mesure que l'on se rapproche de la partie occidentale ou méridonale du Jura, on voit, au dessus des marnes bleues et des calcaires chlorités qui les accompagne, une cinquième assise prendre un développement de plus en plus considérable. Cette assise est exclusivement formée de calcaires bien stratifiés, d'une belle couleur jaune et dont on se sert à Neuchâtel et à Pontarlier comme pierre à bâtir; son épaisseur, dans ces localités, est de 20 mètres environ. Les fossiles sont en général assez rares et ceux que l'on obtient ne paraissent pas différer de ceux des divisions précédentes. Les cinq assises qui viennent d'êtres mentionnées appartiennent à l'étage néocomien proprement dit; l'assise suivante constitue à elle seule l'étage urgonien. — 6° *Groupe de Noirvaux*, Marcou. Ce groupe, entièrement calcaire, se lie intimement avec la partie supérieure de l'assise précédente et il serait impossible de tracer une limite entre eux sans le secours de la paléontologie. L'étage urgonien se distingue de l'assise du calcaire jaune par l'apparition des rudistes; il ne s'étend pas vers le nord au delà de la latitude de Pontarlier, mais il se développe rapidement à mesure que l'on se dirige vers le sud. Puissance moyenne : 50 mètres. Fossiles: *Caprotina ammonia, Radiolites neocomiensis*. *Rhynchonella lata*, *Toxaster Couloni.* (Lory ; Marcou.)

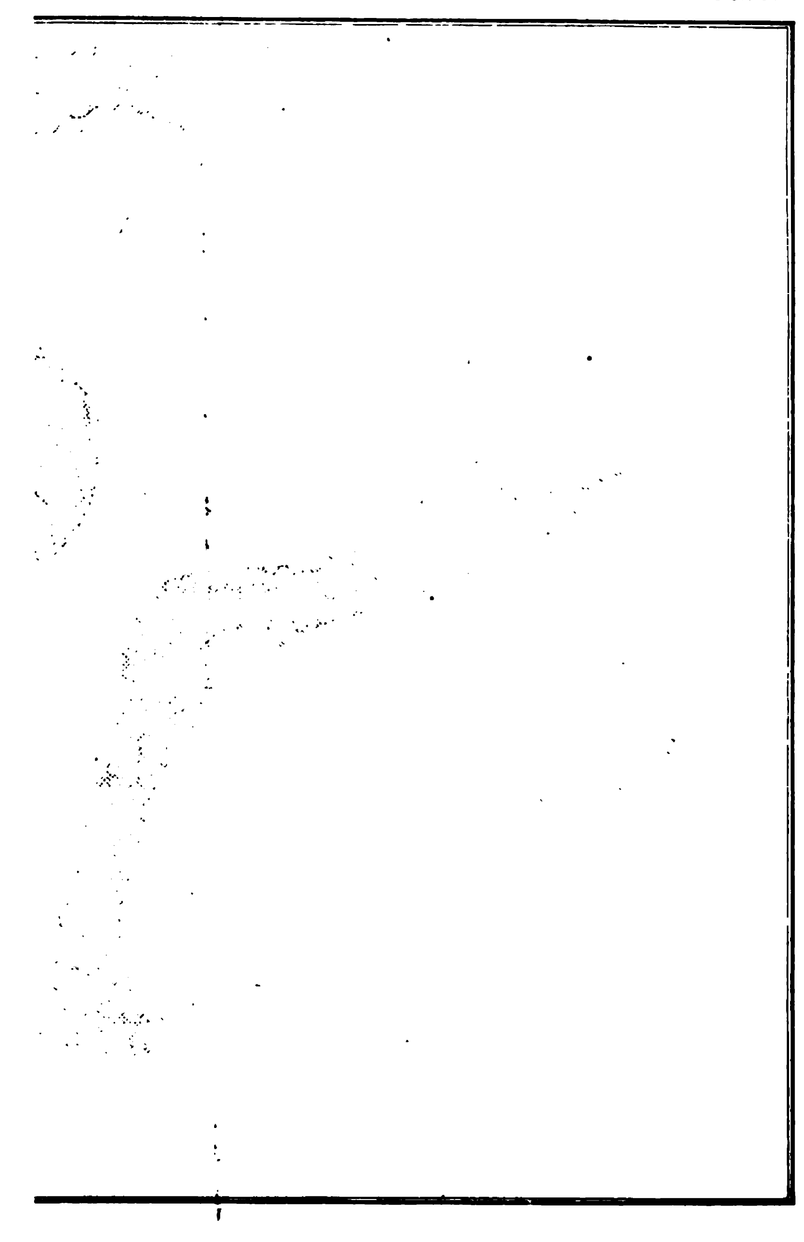
Le système crétacé inférieur dans le sud-est de la France. — Nulle part le terrain néocomien ne présente un plus beau développement que dans le Dauphiné. Dans les environs de Grenoble l'étage néocomien comprend six assises : 1° *Marnes et calcaires marneux* grisâtres, avec *Belemnites latus* et *Ammonites neocomiensis*. 2° — *Calcaires néocomiens inférieurs*, dits *du Fontanil*, grenus, sub-colitiques, bleuâtres ou jaunâtres. Les céphalopodes et les gastéropodes sont assez rares, les échinodermes (*Dysaster ovulum*, *Pygurus rostratus*, *Nucleolites neocomiensis*) et les lamellibranches (*Ostræa Couloni*, *Janira atava*, *Pholodomya elongata*) se montrent en abondance. — 3° *Calcaires roux siliceux*, dans lesquels continuent de se montrer quelques-uns des fossiles de l'assise précédente et qui sont particulièrement caractérisés par l'*Ostræa macroptera*. — 4° *Couche chloritée*, calcaire marneux d'un gris clair, rempli de grains verts, et contenant une faune spéciale où les céphalopodes (*Belemnites pistilliformis*, *Ammonites cryptoceras*, *A. astierianus*) dominent presque exclusivement. — 5° *Calcaires marneux* ou un peu siliceux, bleuâtres, compactes, avec *Crioceras Duvalii*, *Ammonites cryptoceras*, *Nautilus neocomiensis*. — 6° *Marnes grises* ou *bleuâtres* avec *Dysaster ovulum* et *Toxaster complanatus* qui leur est exclusivement propre. L'étage urgonien se compose en général de deux masses de calcaires à caprotines, séparées par une assise très constante de marnes à orbitolines ; au dessus de la dernière assise de calcaire à caprotines, on trouve, sur quelques points seulement, une nouvelle assise de marnes à orbitolines, dont les fossiles sont très variés. (Lory.)

Tous les départements du sud-est de la France présentent des dépôts appartenant au terrain crétacé inférieur. Ce terrain, qui occupe une vaste surface dans le Dauphiné, constitue presque

MERS

NÉOCOMIENNE

CÉNOMANIENNE



grisâtre, grossier, quelquefois employé pour moellon. Fossiles: *Nautilus pseudo-elegans, Pleurotomaria neocomiensis, Pteroceras pelagi, Terebratula acuta, Pholadomya neocomiensis, Astarte gigantea, Corbis cordiformis, Perna Mulleti, Janira atava, Ostræa Couloni, Toxaster retusus.* —L'étage urgonien comprend deux assises : 1° l'*argile ostréenne,* consistant en une argile figuline de couleur claire, caractérisée par l'*Ostræa Leymeriei,* et accompagnée de bancs lumachelliques. Fossiles: *Astarte similis, Corbula punctum, Exogyra subplicata.* — 2° Des *argiles et des sables bigarrés,* formant une assise qui se distingue de l'assise précédente par ses couleurs vives et variées. Cette assise est peu fossilifère; elle se termine par des sables ferrugineux, avec minerai de fer exploité.

Le système crétacé inférieur ne s'obsreve que dans la partie orientale du bassin parisien. Il reparaît pourtant encore dans le pays de Bray; il y est composé d'alternances de sables versicolores, souvent ferrugineux, et d'argiles dont les nuances sont variables; les fossiles, ordinairement marins, sont quelquefois mêlés à des fossiles d'eau douce, qui ont été entraînés avec des débris de végétaux et de fougères.

Le système crétacé inférieur existe encore dans le Hanovre, en Bavière, dans l'est et le sud de l'Espagne, où il est quelquefois constitué par des calcaires à orbitolines, dans le Vicentin et les Alpes Vénitiennes, etc.

Formation wealdienne d'Angleterre. — Le terrain néocomien n'existe pas en Angleterre avec son faciès marin; il y est représenté par la *formation wealdienne* (*wealden formation*), ainsi nommée parce qu'elle se présente dans certaines parties des comtés de Kent, de Surrey et de Sussex, appelées Weald. Cette formation, presque exclusivement lacustre, se divise en deux

à lui seul les montagnes de la Chartreuse et la chaîne du Vercors; il se prolonge jusque sur les bords de la Méditerranée, vers les environs de Nice, d'un côté, et le département des Pyrénées Orientales, de l'autre. L'étage néocomien est, suivant les localités, tantôt marneux, tantôt calcaire; lorsqu'il se présente sous ces deux formes, ce sont les calcaires qui se trouvent à la partie supérieure de l'étage. La partie inférieure du terrain néocomien, connue sous le nom d'étage valengien, se rencontre dans le Gard et les Bouches du Rhône, où il est représenté par des couches à *Strombus Sautieri*. Le terrain néocomien du sud-est de la France se présente sous deux faciès principaux : le faciès alpin caractérisé par l'abondance des céphalopodes et le faciès ordinaire où prédominent, comme dans le Jura, les gastéropodes, les acéphales et les rayonnés. L'étage urgonien (calcaire à *Chama*) est le plus souvent formé de bancs calcaires puissants, blanchâtres, très durs et empâtés de *Chama;* mais il arrive quelquefois que la roche est moins dure, prend un aspect crayeux et devient facile à travailler; c'est ainsi qu'on peut la voir à Martigues, à Orgon, etc. La faune de cet étage se compose surtout de cames, de rudistes, de nérinées et de quelques rares oursins. (Reynès.)

Le système crétacé inférieur dans le bassin parisien. — Dans les départements de l'Aube et de la Haute Marne, le système crétacé inférieur présente la disposition suivante. — L'étage néocomien débute d'abord par une *marne argileuse noirâtre*, puis par des sables tantôt purs, tantôt ferrugineux, et renfermant quelquefois du minerai exploité; cette première assise est sans doute le terme correspondant de la limonite de Métabief. Au dessus vient le *calcaire à spatangues* (*Spatangus* ou *Toxaster retusus* très abondant), ordinairement

grisâtre, grossier, quelquefois employé pour moellon. Fossiles: *Nautilus pseudo-elegans, Pleurotomaria neocomiensis, Pteroceras pelagi, Terebratula acuta, Pholadomya neocomiensis, Astarte gigantea, Corbis cordiformis, Perna Mulleti, Janira atava, Ostræa Couloni, Toxaster retusus.* — L'étage urgonien comprend deux assises : 1° l'*argile ostréenne,* consistant en une argile figuline de couleur claire, caractérisée par l'*Ostræa Leymeriei,* et accompagnée de bancs lumachelliques. Fossiles: *Astarte similis, Corbula punctum, Exogyra subplicata.* — 2° Des *argiles et des sables bigarrés,* formant une assise qui se distingue de l'assise précédente par ses couleurs vives et variées. Cette assise est peu fossilifère; elle se termine par des sables ferrugineux, avec minerai de fer exploité.

Le système crétacé inférieur ne s'obsreve que dans la partie orientale du bassin parisien. Il reparaît pourtant encore dans le pays de Bray; il y est composé d'alternances de sables versicolores, souvent ferrugineux, et d'argiles dont les nuances sont variables; les fossiles, ordinairement marins, sont quelquefois mêlés à des fossiles d'eau douce, qui ont été entraînés avec des débris de végétaux et de fougères.

Le système crétacé inférieur existe encore dans le Hanovre, en Bavière, dans l'est et le sud de l'Espagne, où il est quelquefois constitué par des calcaires à orbitolines, dans le Vicentin et les Alpes Vénitiennes, etc.

Formation wealdienne d'Angleterre. — Le terrain néocomien n'existe pas en Angleterre avec son faciès marin; il y est représenté par la *formation wealdienne* (*wealden formation*), ainsi nommée parce qu'elle se présente dans certaines parties des comtés de Kent, de Surrey et de Sussex, appelées Weald. Cette formation, presque exclusivement lacustre, se divise en deux

groupes : les *sables d'Hasting* (*Hasting's sand*) et l'*argile du Weald* (*Weald-clay*).

Le *groupe des sables d'Hasting* a une puissance de 120 à 300 mètres; il consiste en sables, grès calcarifères, argile et schiste. On y a découvert de nombreux débris de corps organisés, tels que des ossements de reptiles ayant appartenu aux genres *Pterodactylus*, *Plesiosaurus*, *Megalosaurus*, *Iguanodon*, des restes de poissons se rapportant aux ordres des ganoïdes et des placoïdes, des débris d'*Emys* et de *Tryonix*, des coquilles appartenant aux genres *Melanopsis*, *Melania*, *Paludina*, *Cyrena*, *Cyclas*, *Unio* et autres qui habitent les lacs et les rivières; mais on a trouvé à Punfield, comté de Dorset, un banc qui indique des eaux saumâtres où vivaient les genres *Corbula* (*Corbula alata*), *Mytilus* et *Ostræa*. Dans quelques endroits, la formation wealdienne prend un caractère complètement marin par ses fossiles; plusieurs de ces fossiles sont communs au grès vert inférieur: telle est l'*Ammonites Deshayesii*. Ces faits démontrent les rapports intimes qui lient entre elles les faunes de périodes wealdienne et crétacée. Non seulement le *groupe de l'argile du Weald* est en stratification concordante avec le grès vert inférieur, mais il lui ressemble sous le rapport de sa composition minérale. Pour expliquer ce fait, on peut supposer que ce groupe, dont l'épaisseur est de 40 mètres, est un ancien delta et que le fleuve auquel ce delta correspondait, après y avoir déposé une partie des matériaux transportés par lui, charriait le surplus vers la mer. Les carapaces de *Cypris* (*Cypris Wealdensis*, *C. Spiniger*) sont quelquefois très nombreuses et impriment à la roche une structure feuilletée. On rencontre accidentellement des bancs de calcaire (marbre de Sussex) presque entièrement composé de *Paludina*. Le groupe de l'argile wealdienne a

fourni des restes de l'*Iguanodon Mantelli*, qui a été également rencontré, près de Maidstone, dans le grès vert inférieur.

Dans le Hanovre et la Westphalie on retrouve le terrain wealdien avec les mêmes fossiles et les mêmes caractères minéralogiques qu'en Angleterre.

XV. — SYSTÈME CRÉTACÉ MOYEN.

Synonymie, division en étages. — Le système crétacé moyen se divise en quatre étages :

I. — Etage *aptien* (Apt, *Apta Julia*, Vaucluse), comprenant : l'*étage aptien*, d'Orbigny ; l'*étage rhodanien*, Renevier ; le *grès vert inférieur* des géologues français ; l'*argile à plicatules*, Cornuel ; le *speeton-clay*, Phillips ; le *lower green-sand* des géologues anglais.

II. — Etage *albien* (l'Aube, *Alba*), comprenant : l'*étage albien*, d'Orbigny ; les *argiles tégulines*, Leymerie ; le *gault* de Labèche et des géologues anglais ; le *blue chalk-marl*, Mantell ; le *planerkalk* des géologues allemands.

III. — Etage *cénomanien* (Mans, *Cenomanum*), comprenant : l'*étage cénomanien*, d'Orbigny ; le *grès vert supérieur*, la *glauconie crayeuse* et la *craie chloritée* des géologues français ; la *craie de Rouen* ; les *sables du Mans* ; les *marnes à ostracées*, d'Archiac ; les *argiles lignitifères* de Saint Paulet et de l'île d'Aix ; l'*upper green sand* des géologues anglais ; le *planerkalk inférieur* de Saxe ; une partie du *quadersandstein* des géologues allemands. Cet étage correspond au *deuxième horizon* des rudistes et à la zone des *Caprina adversa* et *Sphærulites foliaceus* ou *agariciformis*.

IV. — Etage *turonien* (Touraine, *Turonia*), comprenant :

l'*étage turonien*, d'Orbigny; la *craie tufau;* la *craie de Touraine;* les *sables et grès d'Uchaux;* le *lower-chalk*, en partie, des géologues anglais ; le *planerkalk supérieur* de la Saxe. Cet étage correspond au *troisième horizon* des rudistes et à la zone des *Radiolites lumbricalis* et *Sphærulites Ponsiana*.

Distribution géographique, faune et pétrographie du terrain crétacé moyen. — Le bassin méditerranéen, qui existait déjà pendant la période crétacée inférieure, a persisté pendant la période crétacée moyenne en conservant à peu près la même configuration. Le bassin anglo-parisien a gagné vers l'ouest en étendue et en profondeur; en effet, le terrain crétacé moyen existe, en France, dans la partie occidentale de ce bassin, tandis que le terrain crétacé inférieur n'y est pas représenté; en Angleterre, les localités où s'observent les formations lacustres ou fluvio-marines du Weald sont recouvertes par des assises exclusivement marines constituant la formation du grès vert. Le terrain crétacé moyen dessine autour du bassin anglo-parisien une zone qui ne subit d'autres interruptions que celles que l'on observe entre l'extrémité occidentale de l'Ardenne et le Boulonnais, ainsi que sur l'espace recouvert par la Manche; évidemment ces interruptions ne sont qu'apparentes. Quant au bassin pyrénéen, c'est seulement vers le milieu de la période crétacée moyenne qu'il a commencé à être envahi par les eaux marines, car on n'y a pas encore observé de dépôts de la série crétacée antérieurs à l'étage cénomanien.

La faune de la période crétacée moyenne, très riche en espèces appartenant aux embranchements des invertébrés, présente peu de faits remarquables au point de vue des vertébrés. Le genre *Plesiosaurus* disparaît, les poissons téléostéens commencent à paraître. Les mollusque gastéropodes et acéphales deviennent

de plus en plus nombreux, tandis que les mollusques céphalopodes se préparent à perdre l'importance qui les caractérise pendant la période crétacée; les genres *Goniatites, Ceratites, Ancyloceras*, ainsi que les vrais bélemnites, y apparaissent pour la dernière fois.

Ce sont les roches arénacées qui, surtout dans le nord de l'Europe, jouent le rôle le plus important dans la constitution pétrographique du terrain crétacé moyen; ce sont elles qui, même dans les cas où les calcaires se montrent assez abondants, comme dans le sud-est de la France, impriment à ce terrain son caractère distinctif. Elles se présentent ordinairement à l'état de sables ou de grès ferrugineux, plus ou moins colorés en vert par le fer silicaté. C'est par des roches de cette nature, mêlées à des argiles, que débute la série crétacée moyenne (*grès vert inférieur*). Au dessus viennent les argiles, ordinairement bleuâtres, noirâtres ou verdâtres, qui, tantôt seules, tantôt mêlées à des grès, constituent un horizon géologique peu puissant, mais d'une grande constance : c'est le *gault*. Puis apparaissent d'autres grès (*grès vert supérieur*), souvent remplacés par des calcaires glauconieux (*craie chloritée*). Ces calcaires glauconieux établissent une transition entre les roches détritiques verdâtre des assises inférieures et les calcaires qui dominent dans le terrain crétacé supérieur. Ceux-ci, d'abord marneux, ocreux ou micacés, tendent à se dépouiller de leurs éléments étrangers et finissent par passer à l'état de craie blanche ou de carbonate de chaux presque pur.

Le système crétacé moyen en Angleterre. — En Angleterre, le système crétacé moyen dessine une zone continue et assez étroite qui se prolonge depuis le Walsh jusque dans le Dorchestershire; il se retrouve dans l'île de Wight et entoure la région du

Weald. Il peut se partager en quatre groupes qui correspondent aux quatre étages aptien, albien, cénomanien et turonien, et que les Anglais réunissent sous la désignation de *formation du grès vert* (*green sand formation*). Ces quatre groupes sont : 1° Le *grès vert inférieur, lower green sand,* immédiatement superposé au terrain wealdien. Le plus souvent, ce groupe se compose de sables et de grès en partie chlorités avec concrétions siliceuses et de quelques bancs calcaires ; dans certaines localités il atteint jusqu'à 200 mètres d'épaisseur ; les trois autres groupes offrent une puissance bien moindre. — 2° Le *gault,* consistant en une marne argileuse d'un bleu foncé, avec nombreux fossiles. Les couches de Blacdown, dit Lyell, ont été généralement rapportées au grès vert supérieur, mais M. Sharpe les considère avec raison comme un équivalent du gault. — 3° Le *grès vert supérieur, upper green sand,* formé surtout de roches sableuses avec particules vertes sur les falaises de l'île de Wight ; ce grès vert contient des bandes de grès calcaire avec nodules siliceux. Dans le Surrey, le calcaire est en forte proportion et forme une roche réfractaire appelée *firestone* (pierre à feu). — 4° La *craie marneuse* ou *marne crayeuse, chalk marl,* que quelques géologues placent dans le système crétacé supérieur.

Le système crétacé moyen dans le bassin parisien. — L'étage *aptien* forme, dans la partie occidentale du bassin parisien, une bande qui se prolonge du département de la Meuse jusque dans celui de l'Yonne et qui est parallèle à celle que dessine le terrain néocomien. Il s'y montre tantôt à l'état d'argiles bleuâtres, (*argile à plicatules* de l'Aube), tantôt de grès qui ressemblent à ceux du gault, plus rarement de calcaires marneux, gris ou jaunâtres.. Fossiles : *Ammonites nisus, A. bicurva-*

tus, Plicatula placunæa, Ostræa carinata, Terebratula sella. — L'étage *albien* existe, comme les précédents, dans la partie orientale du bassin anglo-parisien, mais il y occupe une zone plus étendue qui se prolonge depuis le département de l'Aisne jusque dans celui de l'Yonne. Dans l'Aube, cet étage se compose d'argiles grises tégulines et de sables et grès friables d'une couleur verte très prononcée. Fossiles : *Belemnites minimus, Ammonites mamillaris, A. Lyelli, Hamites alterno-tuberculatus, Exogyra lateralis, Ostræa carinata, Janira quadricostata, Inoceramus concentricus, Nucula pectinata.* — L'étage *cénomanien* dessine autour du bassin parisien une zone qui se prolonge depuis le département de l'Aisne jusque dans celui du Calvados, sans éprouver d'autres solutions de continuité que celles qui existent sur les points où il est momentanément recouvert par le terrain tertiaire ou par les alluvions; contrairement à ce que nous avons constaté pour les étages précédents, c'est vers l'ouest qu'il atteint son plus grand développement. Il décrit un vaste cercle, ouvert seulement le long du littoral de la Manche, entre Fécamp et le cap Blanc-nez. Il se divise en deux sous-étages : 1° la *craie chloritée de Rouen* (étage *rothomagien,* Coquand) avec *Ammonites rothomagensis, A. falcatus, Scaphites æqualis, Turrilites costatus;* 2° le *grès du Mans* (étage *carentonien,* Coquand), formé de grès très grossiers, souvent glauconieux ou ferrugineux, très riches en fossiles, tels que : *Janira phaseola, Ostræa biauriculata, O. Columba, Orbitolina concava, Terebratula Menardi.* — L'étage *turonien* existe, comme le précédent, tout autour du bassin parisien. Les couches de cet étage, minces et peu distinctes au nord et au nord-est, prennent une grande puissance dans toute la partie sud-ouest de ce bassin. Il se compose de craie marneuse, grise, blanche ou jaunâtre, quelque-

fois micacée dans la Touraine. Fossiles : *Ammonites peramplus, Nerinea Requieniana, Trigonia scabra, Inoceramus problematicus (mytiloïdes), Rhynchonella Cuvieri.*

Le terrain crétacé s'observe non seulement sur le pourtour du bassin pyrénéen, mais aussi vers la partie centrale de ce bassin, dans le pays de Bray, le Boulonnais et les régions voisines. Tous les étages de la série crétacée y sont représentés depuis les couches néocomiennes avec *Ostrœa Leymeriei* de Wissant (Pas de Calais) jusqu'au calcaire de Valersine (Oise).

Le terrain crétacé se retrouve en Belgique et, notamment, aux environs d'Aix la Chapelle, de Maëstricht, de Liége et de Mons. C'est à sa partie moyenne qu'appartient la roche appelée *tourtia* par les mineurs de Flandres; cette roche se compose de cailloux quartzeux engagés dans une pâte d'argile, de sable et de calcaire.

Le système crétacé moyen dans le bassin méditerranéen. — Dans le sud-est de la France, l'étage *aptien* se montre sous forme de bancs épais marneux, de couleur noire ou cendrée ; mais, parfois, les marnes prennent de la consistance et se transforment en calcaire marneux très dur. Fossiles : *Belemnites semicanaliculatus, Ammonites nisus, A. Emerici, Ancyloceras Cornueli, Toxoceras Royeri, Rostellaria gargasenssis, Cerithium barramense, Plicatula placunœa, P. radiola, Terebratula sella.* — L'étage *albien* (*gault*) n'a qu'une faible épaisseur qui ne dépasse jamais quelques mètres; mais c'est un terrain dont les caractères sont très saillants, bien qu'ils présentent peu de constance. Tantôt on le voit sous forme de craie glauconieuse, tantôt à l'état de calcaire grenu ; ailleurs il devient sableux. Sa faune est, elle même, des plus curieuses, et, sur certains points, la roche est pétrie de fossiles ; on peut dire que, pen-

dant la durée de la mer albienne, il y a eu exhubérance de vie. Fossiles : *Ammonites latidorsatus, A. mamillaris, A. Lyelli, Hamites rotundus, Turrilites catenatus, Belemnites minutus, Natica gaultina, Ostræa carinata, Orbitolites lenticulata.* — L'étage *cénomanien* est en majeure partie formé de calcaires qui varient beaucoup dans leur texture et leur nuance et qui sont quelquefois associés à des grès ou à des marnes. Cet étage peut se partager en trois assises : une assise *inférieure*, correspondant à la craie de Rouen et renfermant : *Ammonites varians, A. Rothomagensis, A. Mantelli, Turrilites costatus, Pecten asper, Janira quinquecostata, Ostræa conica*; une assise *moyenne*, d'origine fluvio-marine, renfermant des cyrènes, des cyclades, et du lignite avec rognons de succin; cette assise s'observe à Saint Paulet (Gard) et à Mondragon (Vaucluse); une assise *supérieure*, comprenant des bancs à ostracées avec *Ostræa columba, O. carinata, O. flabella, Caprina adversa.* — L'étage *turonien* n'est représenté que dans les départements de l'Ardèche, des Bouches du Rhône et de Vaucluse; il se compose de sables et de grès très puissants à Uchaux (Ardèche). Fossiles : *Ammonites Requieni, Trigonia scabra, Hippurites Requieni, Radiolites cornupastoris, Sphærulites Ponsianus.* (Reynès.)

Dans les départements de l'Isère et de la Savoie, l'étage aptien, la partie supérieure de l'étage cénomanien et l'étage turonien font défaut; le gault se montre dans un grand nombre de localités, et notamment à la montagne des Fis (Savoie), où il a été signalé depuis longtemps par Brongniart. Dans l'Isère, d'après M. Lory, le gault se divise en deux assises : l'*inférieure*, formée d'un calcaire roux, sableux, lumachellique, sans fossiles déterminables en général; la *supérieure*, se composant de grès grossier, contenant des moules de fossiles souvent roulés et

toujours à l'état de phosphate de chaux; ces fossiles sont les espèces caractéristiques du gault. L'étage aptien et le gault existent à la Perte du Rhône; l'un a une épaisseur de 20 mètres, et l'autre de 5. Ils se composent principalement de sables et de grès ordinairement verdâtres, quelquefois bleuâtres ou jaunâtres, assez riches en fossiles.

Le terrain crétacé moyen, de plus en plus aminci, se retrouve par lambeaux dans la région jurassienne. A Leissard (Ain), on observe, au dessus du calcaire à *Chama*, le gault formé de sable siliceux, un peu micacé, blanc, vert ou jaune, quelquefois très ferrugineux, mélangé d'argile bariolée, peu fossilifère; il n'a que d'un à 2 mètres d'épaisseur et ne s'observe que sur un espace de 3 kilomètres de longueur et de 400 mètres de largeur; il est immédiatement recouvert par la craie blanche. Celle-ci, épaisse de 30 à 40 mètres, se compose d'un calcaire blanc, subcrayeux, en lits minces, contenant des silex et des veines de calcaire siliceux. Les bancs les plus inférieurs sont chlorités et contiennent des rognons ferrugineux. (Benoît.) — Un autre lambeau de terrain crétacé moyen, signalé à Saint Julien (Jura), montre, sur une longueur d'un kilomètre, au dessus du terrain néocomien, le gault, épais de près de trois mètres, constitué par des sables verts, assez riches en fossiles, la craie chloritée, épaisse de près de deux mètres, avec fossiles assez nombreux, et la craie à silex, avec *Galerites albo-galerus, Micraster brevis,* etc. (Bonjour, Defranoux, Ogérien). — Le terrain crétacé moyen, toujours représenté par le gault et la craie chloritée, se retrouve dans les parties basses du Doubs et dans la Haute Saône.

Dans le sud-ouest de la France, la série crétacée débute par des assises appartenant à la partie moyenne de l'étage cénomanien; ces assises sont les bancs fluvio-marins que l'on observe

à l'île d'Aix et qui sont synchroniques avec ceux de Saint Paulet (Gard). Dans la Charente, l'étage cénomanien offre, au dessus des argiles à succin et à lignite de l'île d'Aix et d'Angoulême, des argiles tégulines, bleues, pyritifères, intercalées entre deux assises de grès verdâtres calcarifères et de grès sableux ferrugineux. Fossiles : *Ammonites Fleuriausianus, Pecten quinquecostatus, Ostræa plicata* ou *flabellata, O. columba, O. biauriculata, O. carinata, Caprina adversa, Sphærulites foliaceus, Orbitolites conica.* — L'étage turonien est constitué, dans sa partie inférieure, par des calcaires jaunes, très durs, à grains miroitants, employés comme pierre à paver, et, dans sa partie supérieure, par des calcaires blanchâtres, tendres, exploités comme pierre de taille; les calcaires de cet étage renferment de nombreux individus de *Radiolites lumbricalis.* (Coquand.) — Quelques lambeaux de terrain crétacé moyen existent dans les départements de la Loire Inférieure et de la Vendée ; ce terrain se développe à travers les départements de la Charente, de la Charente Inférieure, de la Dordogne et du Lot; il disparaît ensuite sous les alluvions.

XVI. — SYSTÈME CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

Synonymie; division en étages. — Le système crétacé supérieur se divise en trois étages :

I. — Etage *provencien* (la Provence, où il est très développé), comprenant : la *craie marneuse* des divers auteurs ; l'*étage provencien*, Coquand ; le *terrain hippuritique* du midi de l'Europe : le *chalk-marl* ou *lower-chalk* des géologues anglais, en partie. Cet étage correspond au *quatrième horizon* des

rudistes et à la zone des *Hippurites organisans* et *cornu-vaccinum*.

II. — Etage *sénonien* (Sens, *Senones*), comprenant : l'*étage sénonien*, d'Orbigny ; la *craie blanche* de la plupart des auteurs ; la *craie de Villedieu* et la *craie de Meudon* ; le *chalk* des géologues anglais ; l'*obere kreide* des géologues allemands. Cet étage correspond au *cinquième horizon* des rudistes et à la zone des *Sphærulites sinuatus*, *S. Hœninghausi*, *Radiolites crateriformis*.

III. — Etage *danien* (le Danemark), comprenant les derniers dépôts que nous mentionnerons plus loin comme correspondant à la fin de la période crétacée. Cet étage correspond au *sixième horizon* des rudistes et à la zone des *Hippurites radiosus*, *Radiolites Jouanneti*, *Sphærulites cylindraceus*.

Faune et pétrographie du terrain crétacé supérieur. — Les mammifères et les oiseaux manquent complétement à la faune de la période crétacée supérieure comme à celles des périodes moyenne et inférieure. Parmi les reptiles, on cite quelques genres spéciaux, tels que le *Mosasaurus* ; le genre *Crocodilus* se montre pour la première fois. Les poissons présentent de plus en plus les caractères des faunes récentes et les téléostéens sont déjà assez nombreux. La famille des ammonitides, les dernières bélemnites, représentées par le genre *Belemnitella*, le genre *Nerinea*, parmi les gastéropodes, le genre *Inoceramus*, parmi les acéphales, les rudistes, les genres *Ananchytes* et *Holaster*, parmi les échinodermes, existent pour la dernière fois. Les foraminifères sont très abondants et les bryozoaires forment une faune d'une extrême richesse. (Pictet.)

En Angleterre et dans le nord de la France, l'élément pétrologique, qui joue le rôle le plus important dans la composition

du terrain crétacé supérieur, est le calcaire à l'état crayeux (*craie blanche*) dont il a été déjà question (tome I, page 496; tome III, page 94). La craie blanche forme une zone qui se partage en deux parties : l'une placée au dessus, renferme des silex, l'autre en est habituellement dépourvue; inférieurement, la craie blanche passe à une craie marneuse, plus ou moins grossière. Dans le midi de la France et de l'Europe, la craie blanche offre peu de développement; la masse principale du système crétacé supérieur est constituée par un calcaire compacte appartenant au terrain hippuritique.

Distribution géographique du terrain crétacé supérieur. — Vers la fin de la période crétacée, les mers avaient à peu près la même répartition que pendant la fin de la période jurassique; la France et les régions voisines offraient de nouveau trois centres de sédimentation ou bassins et ces bassins étaient placés dans la même situation relative que ceux qui avaient existé pendant les derniers temps de la période jurassique. Ces trois centres de sédimentation étaient les bassins *anglo-parisien*, *pyrénéen* et *méditerranéen*. Les mouvements du sol, qui ont donné origine au bassin *anglo-parisien*, se sont manifestés dans les mêmes circonstances qui avaient déterminé la formation des bassins marins correspondant aux périodes antérieures; ces mouvement se sont coordonnés par rapport aux massifs montagneux les plus rapprochés, et le terrain crétacé supérieur qui a été reçu dans ce bassin termine cette série de dépôts, en forme de cuvettes, qui se superposent les uns aux autres (*antè*, page 581). Les eaux marines qui, peu après le commencement de la période cénomanienne, ont envahi l'espace compris entre le plateau central de la France et celui de l'Espagne, y constituaient une mer que l'on désigne sous le nom de bassin *pyrénéen*

et du sein de laquelle les Pyrénées, en partie émergées, s'élevaient déjà sous forme d'île ou de presqu'île. Quant au bassin *méditerranéen*, les eaux marines, qu'il a reçues pendant la période crétacée supérieure, s'y sont réparties de deux manières différentes au commencement et à la fin de cette période. La mer de la craie à hippurites recouvrait la majeure partie des départements situés sur le littoral de la Méditerranée, mais elle ne s'avançait pas vers le nord au delà du département de Vaucluse. La mer de la craie blanche, au contraire, avait déserté ces départements et occupait un bassin assez étroit qui s'étendait depuis le département du Jura jusque dans celui du Var et que l'on peut distinguer sous le nom de bassin *alpin*.

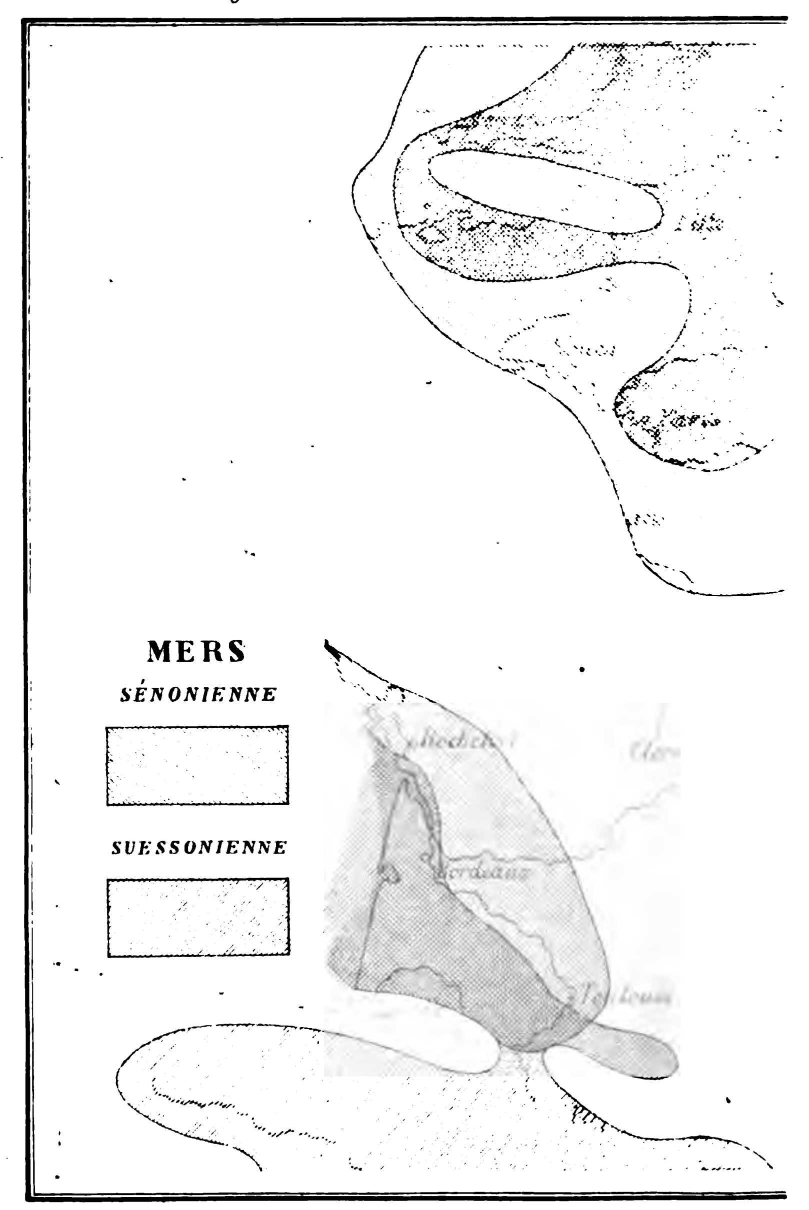
Terrains de la craie marneuse et de la craie blanche. — Dans le bassin de Paris et en Angleterre, le système crétacé supérieur se compose de calcaires sous différents états; il peut avoir jusqu'à 400 mètres de puissance. Ces calcaires sont ordinairement massifs et la stratification, dans la plupart des cas, n'est indiquée que par des rognons de silex, disposés suivant des plans parallèles et dont la présence caractérise surtout la partie supérieure. — La *craie marneuse*, représentant de l'étage provencien, offre une texture grossière; elle est grisâtre, moins tachante que la craie blanche, assez souvent bigarrée par l'oxyde de fer; elle contient quelques lits de silex pyromaques. Fossiles: *Belemnitella quadrata, Baculites Lyelli, Ananchytes gibba*. — La *craie blanche* (*craie de Meudon*, en France; de *Maidstone*, en Angleterre), constituant l'étage sénonien, est un calcaire blanc mat, tendre, quoique pouvant être employé comme pierre de construction, traçant, tachant les doigts, happant à la langue. On la divise ordinairement en deux parties : une partie *inférieure*, dépourvue de silex et une partie

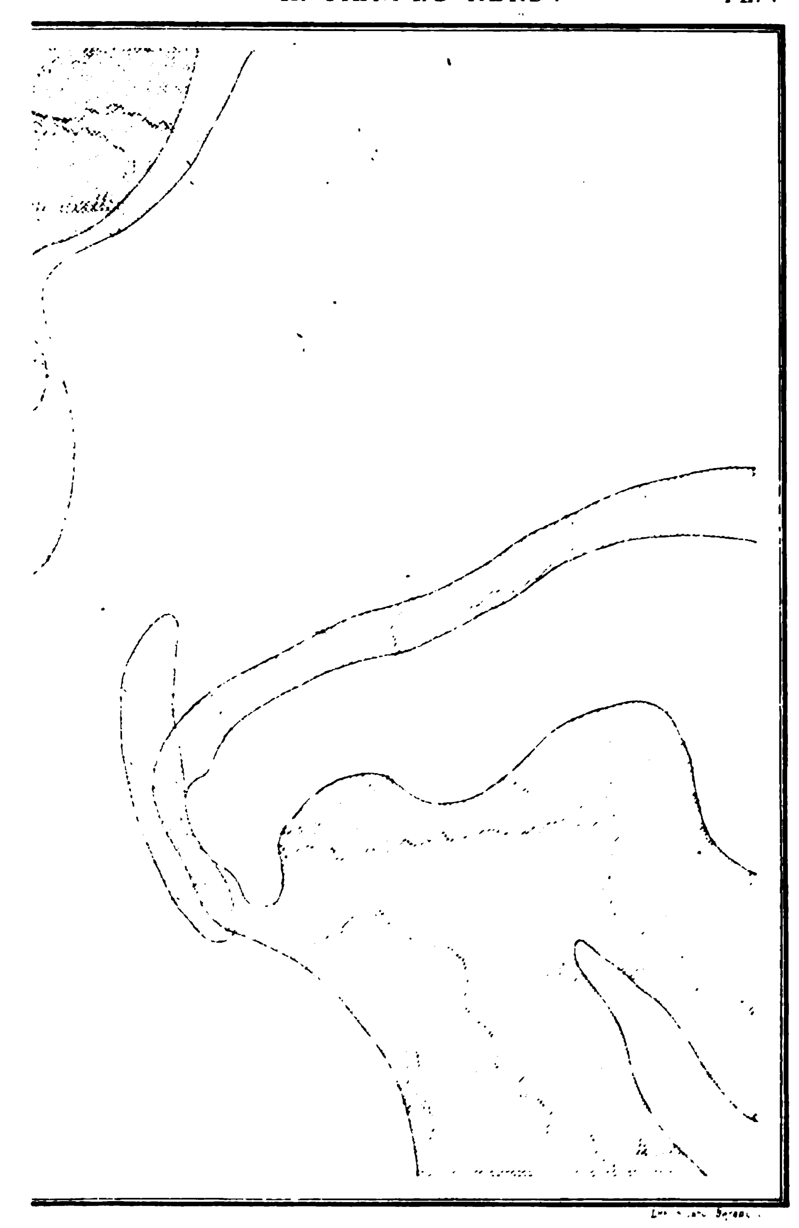
supérieure, divisée en bancs d'un à deux mètres par des bandes de silex pyromaques se distinguant de ceux de la craie marneuse par leur cassure plus conchoïde, par leur couleur plus vive et leur forme plus nettement accusée. Fossiles : *Belemnitella mucronata, Janira quadricostata, Inoceramus Lamarckii, I. Cuvieri, Ostræa vesicularis, Crania parisiensis, Terebratula carnea, Micraster coranguinum, Ananchytes ovata, Galerites albo-galerus.*

Pendant longtemps, ai-je dit, on a cru que la craie blanche manquait dans le midi de l'Europe et que le terrain nummulitique en occupait la place; mais, depuis que M. de Verneuil a constaté, en 1836, que la craie blanche, recouverte par la formation nummulitique, existe en Crimée, on l'a signalée sur d'autres points de l'Europe et il a été reconnu qu'elle est plus répandue qu'on ne l'avait d'abord supposé. — La craie blanche se montre par lambeaux, que des circonstances favorables ont mis à l'abri des dénudations, dans les départements du Jura, de l'Ain (*antè,* page 659), de la Savoie, de l'Isère, de la Drôme, des Hautes et des Basses Alpes. On l'observe notamment dans la vallée d'Entremont (Savoie), où elle contient la *Belemnitella mucronata* et l'*Ananchytes ovata,* et repose sur la craie marneuse avec *Inoceramus problematicus* et *I. cuneiformis,* qui elle même recouvre le gault. — La craie blanche existe également dans les Pyrénées et, sur le versant sud-ouest du plateau central, dans la Saintonge, l'Angoumois et le Périgord.

Terrain à hippurites du midi de l'Europe. — La *craie à hippurites* (étage *provencien,* Coquand) a un très grand développement dans le sud-est de la France ; elle existe dans le Var, les Bouches du Rhône, le Vaucluse, le Gard, l'Ardèche et l'Aude. Elle atteint

Prodrome de Géologie. **CARTES DES**







jusqu'à cent mètres de puissance et se compose de calcaires ordinairement durs, subcristallins, blanchâtres, avec fossiles fortement engagés dans la roche. Les principaux de ces fossiles sont : *Sphærulites Moulinsi, S. angeiodes, Hippurites cornu-vaccinum, H. organisans, H. bioculatus, H. dilatatus, Radiolites excavatus, R. acuticostatus, Caprina Aguilloni.*

Le terrain à hippurites est très répandu dans le sud-ouest de la France ainsi que dans le midi de l'Europe ; il y occupe la place de la craie marneuse du nord de la France.

Derniers dépôts de la période crétacée. — Les derniers dépôts de la période crétacée, c'est à dire ceux qui constituent l'étage danien, sont : la *craie de Maëstricht,* la *craie d'Aubeterre,* dans la Charente, le *calcaire pisolitique* des environs de Paris, le *calcaire à baculites* du Cotentin et le *calcaire de Faxoë,* dans le Danemark. La faible extension offerte par ces dépôts résulte non seulement du peu d'étendue des bassins de la fin de la période crétacée, mais aussi des nombreuses dénudations auxquelles ils ont été soumis ; leur épaisseur peu considérable et leur composition ont rendu plus facile l'action exercée sur eux par les phénomènes d'érosion. Tous ces dépôts ne sont pas rigoureusement synchroniques. La craie de Maëstricht, dont les fossiles ont un faciès plus nettement crétacé, se place à la base de l'étage danien ; peut-être même sa partie inférieure correspond-elle à l'étage sénonien. Le calcaire pisolitique, au contraire, appartient à la partie supérieure de l'étage danien, car, des divers dépôts que nous venons de mentionner, c'est celui qui renferme le moins de fossiles ayant un faciès crétacé.

Sous le nom de *craie de Maëstricht,* on désigne un ensemble de strates ayant 30 mètres d'épaisseur et superposé à la craie blanche avec silex. Au mont Saint Pierre, dans l'un des fau-

bourgs de Maëstricht, cet ensemble se compose d'un calcaire tendre, blanc, avec rognons de calcédoine; plus haut ce calcaire devient jaunâtre et fournit des blocs de construction; plus haut encore apparaissent, sur une épaisseur de 6 mètres, des couches où abondent des polypiers et des bryozoaires. On a trouvé dans la craie de Maëstricht des débris de poissons, de tortues, de crocodiles et une tête presque complète de *Mosasaurus*. Les principaux fossiles sont : *Baculites anceps, B. Faujasii, Belemnitella mucronata, Janira quadricostata, Ostræa auricularis, O. larva, O. vesicularis, Crania striata, Terebratula carnea, Hemiaster prunella, Hemipneutes radiatus, Hippurites radiosus, Sphærulites Hœninghausi, S. Faujasii.*

Dans les départements de la Charente et de la Dordogne, il existe des lambeaux d'un terrain qui correspond à la craie de Maëstricht. Les dénudations survenues après le dépôt de la craie, dit M. Coquand, ont respecté le dernier étage du terrain crétacé sur trois points du département de la Charente, et, notamment, sur le plateau qui domine Aubeterre. Près d'Aubeterre, cet étage, dont l'épaisseur n'est que de 15 mètres, est superposé à des bancs de calcaire crayeux avec *Ostræa vesicularis;* il se compose d'un calcaire grumeleux, jaunâtre, rempli de polypiers, d'*Hippurites radiosus*, de *Sphærulites cylindraceus* et des *Radiolites Jouanneti, R. acuticostatus*. Ces mêmes espèces, associées aux *Sphærulites Bournoni, S. Toucasii, Radiolites ingens, R. calceolides,* se retrouvent dans les environs de Saint Mametz (Dordogne), et caractérisent dans ce département, comme dans la Charente, l'étage le plus élevé de la craie.

Le *calcaire de Faxoë*, dans l'île de Seeland (Danemark), repose sur la craie blanche avec silex; c'est un calcaire jaune employé comme pierre de construction, renfermant de nombreux coraux et des mollusques, les uns communs à la craie

blanche, tels que *Baculites Faujasii* et *Belemnitella mucronata*, les autres analogues à ceux de la période tertiaire et appartenant aux genres *Cypræa*, *Oliva*, *Mitra*, *Fusus*, *Patella*, etc. A ces fossiles se trouve mêlé le *Nautilus danicus*, caractéristique de l'étage danien.

Le dernier étage de la série crétacée, dans le bassin de Paris, est généralement désigné sous le nom de *calcaire pisolitique*. Il se montre par lambeaux sur tout l'espace compris entre les Vertus (Marne) et Laversine (Oise) dans un sens, et entre Meudon et Montereau, dans l'autre sens. Son épaisseur est de 15 mètres environ. Il se compose de calcaire grossier, blanchâtre ou jaunâtre, pétri de coquilles et de polypiers. La plupart des fossiles ont un faciès tertiaire ; on n'y trouve plus de rudistes, ni aucun genre d'ammonitidées; mais on y a rencontré le *Pecten quadricostatus*, le *Nautilus Danicus* et deux ou trois autres espèces de la craie de Faxoë.

Formations lacustres supra-crétacées et infra-nummulitiques. — D'après M. Matheron, le terrain lacustre qui, en Provence, comprend le grand dépôt de lignites de Fuveau, est situé au dessous d'un autre terrain lacustre qui contient la *Physa prisca* et correspond aux terrains lacustres de Montolieu (Aude) et de Rilly. Or ces derniers sont généralement placés tout à fait à la base de la série tertiaire. Il est donc naturel de considérer la lignite de Fuveau comme faisant partie de la série crétacée, et jouant, par rapport à cette série, le même rôle que les couches de Purbeck par rapport à la série jurassique. Pour compléter cette comparaison, il suffit d'ajouter que les terrains lacustres de Rilly et de Montolieu remplissent par rapport à la série nummulitique le même rôle que la formation wealdienne par rapport à la série crétacée.

L'émersion générale du sol qui s'est produite à la fin de la période crétacée a dû, comme celle qui a marqué la fin de la période jurassique, amener l'établissement de formations lacustres plus ou moins étendues. Ces formations, ainsi placées à cheval entre deux périodes consécutives, doivent être rattachées en partie à la période antérieure et en partie à la période postérieure, suivant les indications fournies par les fossiles qu'elles contiennent. Ces indications nous font encore défaut en ce qui concerne la formation lacustre de Rilly la Montagne que l'on s'accorde à placer à la base du terrain tertiaire. Le terrain lacustre de Rilly s'étend de Sézanne à Compiègne et de Reims à Guiscard. Elle comprend deux assises : 1° Les *sables de Rilly*. Cette assise, dont l'épaisseur varie de 4 à 15 mètres, se compose d'un sable quartzeux très pur et très blanc, surtout à sa partie inférieure. 2° Les *marnes à Physa gigantea*. Ces marnes, ordinairement friables, passent, dans certains cas, à l'état de calcaire marneux et forment une couche continue. Ce dépôt calcaire contient des fossiles terrestres et des fossiles d'eau douce, tels que : *Physa gigantea, Paludina aspersa, Helix hemisphærica, Cyclostoma Arnoudii.*

La formation lacustre de Rilly a pour terme correspondant, en Provence, un ensemble formé d'argiles et de marnes à la base et de calcaires marneux au sommet. Cet ensemble est caractérisé par de nombreuses coquilles d'eau douce et, notamment, par la *Physa prisca*. Il se retrouve, dans l'Hérault, auprès de Vallemagne, et, dans l'Aude, aux environs de Conques et de Montolieu, où il est recouvert par le terrain nummulitique, et où il est formé d'un calcaire blanc avec grandes physes et coquilles lacustres et terrestres.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE TERRAIN TERTIAIRE.

Le point de départ dans les recherches relatives au terrain tertiaire a été l'ouvrage publié, en 1808, par G. Cuvier et Alex. Brongniart, sous le titre de : *Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris*, et réimprimé, en 1821, sous celui de *Description géologique des environs de Paris*. Peu après la première apparition de cet important travail, dans lequel le terrain tertiaire se trouvait nettement séparé des alluvions avec lesquelles il avait été confondu jusqu'alors, l'existence de ce terrain était successivement signalée dans un grand nombre de contrées, et notamment en France et d'autres pays, par Alex. Brongniart lui même; dans le bassin de la Loire, par M. J. Desnoyers; dans le midi de la France, par Marcel de Serres; dans le bassin de Bordeaux, par M. Basterot; en Angleterre, par Parkinson et d'autres géologues anglais; en Allemagne, par Boué; en Suisse, par Studer; dans le bassin de Vienne, par C. Prévost; en Hongrie, par Beudant; en Italie, par Brocchi. En même temps, on constatait que, sur plusieurs points, le terrain tertiaire atteint un développement plus considérable qu'aux environs de Paris; c'est ainsi que M. J. Desnoyers publiait, en 1825 et 1829, deux mémoires pour signaler la présence de dépôts marins plus récents que le terrain tertiaire du bassin de la Seine; à cet ensemble, constituant une formation distincte, il donnait le nom de terrain *quaternaire* qu'il aban-

donnait peu après, et qui était destiné à reparaître dans la nomenclature géologique avec une signification nouvelle. Enfin, à une époque récente, les dépôts nummulitiques de la zone asiatico-méditerranéenne étaient, après avoir donné lieu à une vive controverse, définitivement considérés comme appartenant à la série tertiaire.

L'expression de *terrain tertiaire,* bien que ne se rencontrant pas dans l'*Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris*, était déjà employée lors de la publication de cet ouvrage. Labèche et Huot, chacun dans leur traité de géologie, ont proposé de la remplacer par celles, le premier, de terrain *supracrétacé,* le second, de terrain *supercrétacé;* aucune de ces deux désignations n'est passée dans l'usage. On a également renoncé à se servir de la dénomination de *terrain paléothérien* qui était impropre, puisque les paléothériums sont loin d'avoir vécu pendant toute la période tertiaire.

Parmi les diverses divisions qui ont été successivement proposées pour le terrain néozoïque, mentionnons d'abord celle qui se trouve dans la *Description géologique des environs de Paris,* édition de 1821. G. Cuvier et Alex. Brongniart partageaient le terrain de sédiment supérieur (nommé aussi, disent-ils, terrain tertiaire) en six formations.

G. Cuvier et Brongniart définissaient le terrain tertiaire, ou de sédiment supérieur, en disant qu'il s'étend depuis la craie exclusivement ou depuis les argiles plastiques et les lignites inclusivement, jusqu'à la surface de la terre, ou plutôt jusqu'aux derniers dépôts marins de l'ancienne mer. M. J. Desnoyers ayant démontré, en 1825, que la série tertiaire n'était pas complète aux environs de Paris, il en résultait pour lui que cette série se composait de deux parties distinctes : la partie inférieure, constituant le terrain de Paris proprement dit,

et la partie supérieure, dont l'un des caractères les plus habituels, disait-il, est de contenir des ossements de grands mammifères. Il divisait cette partie supérieure en trois époques, dont une seule, la plus ancienne, appartenait réellement à la période tertiaire. On va voir que telle est la division que nous croyons devoir choisir pour le terrain tertiaire, tout en établissant notre classification sur une autre base que celle qui était adoptée par M. J. Desnoyers.

Dans son *Manuel géologique* (1832), Labèche n'indique aucune division pour son groupe supracrétacé; dans ses descriptions, il se borne à appliquer la classification de G. Cuvier et Alex. Brongniart. — Dans leur *Description géologique de la France*, Dufrénoy et Elie de Beaumont divisent le terrain tertiaire en trois groupes, *inférieur*, *moyen* et *supérieur*, ainsi que l'indique le tableau de la page 408. — Rappelons, enfin, la division adoptée par Alc. d'Orbigny, qui partageait le terrain tertiaire en quatre étages, auxquels il affectait les désignations de *suessonien*, *parisien*, *falunien* et *subapennin*.

C'est vers 1830 que la division ternaire, généralement suivie jusqu'à présent pour la série néozoïque, a été introduite dans la science par M. Deshayes. Laissant de côté tous les caractères empruntés, soit à la nature des terrains, soit à leur superposition, cet éminent paléontologiste divisait le terrain tertiaire en trois systèmes, où la proportion des espèces analogues avec les espèces vivantes était d'autant plus grande que ces systèmes étaient plus récents : le *système inférieur* renfermait 3 °/₀ d'espèces qui ont leurs analogues vivantes, le *système moyen* 18 °/₀ et le *système supérieur* 50 °/₀. En même temps, M. Elie de Beaumont divisait également le terrain tertiaire en trois étages, correspondant assez exactement aux trois systèmes de M. Deshayes et caractérisés par les débris de

mammifères qu'ils contenaient, savoir : les paléothériums, dans le premier; les mastodontes, dans le second; les éléphants, dans le troisième. Ce dernier caractère indique assez que, dans la pensée de M. Elie de Beaumont, le troisième étage comprenait une partie des dépôts que nous savons aujourd'hui appartenir à l'ère jovienne.

« En 1828, dit sir Lyell, je conçus l'idée de classer toute la série des couches tertiaires en trois groupes, et je m'efforçai de trouver, pour chacun d'eux, des caractères qui pussent exprimer leur différents degrés d'affinité avec la faune actuelle. Ayant fait connaissance, en 1829, avec M. Deshayes, j'appris de lui qu'il était arrivé à des vues tout à fait semblables aux miennes sur l'arrangement des formations tertiaires. A ma demande, il dressa, sous forme de tableau, des listes de toutes les coquilles qu'il savait se présenter à la fois dans quelque formation tertiaire et à l'état vivant, afin que l'on pût établir le nombre proportionnel des espèces fossiles identiques avec les espèces récentes qui caractérisent les groupes successifs; j'ai publié, en 1833, ce tableau que nous avions rectifié en commun. Je proposai de donner des noms techniques très courts à ces groupes. J'appelai le premier, ou le plus ancien, *éocène;* le second, *miocène;* le troisième, *pliocène*. Le premier de ces mots est dérivé de ἑως, aurore, et καινὸς, récent : en effet, les coquilles fossiles de ce gronpe ne comprennent qu'une très petite proportion d'espèces vivantes, et l'on peut le considérer comme indiquant l'aurore de l'état actuel de la faune testacée, aucune espèce récente n'ayant été jusqu'à présent découverte dans les roches secondaires. Le mot *miocène,* de μεῖον, moins, et καινὸς, récent, exprime une proportion moindre d'espèces testacées récentes. Le mot *pliocène*, de πλεῖον, plus, et καινὸς, récent, indique un plus grand nombre de ces espèces. »

M. Paul Gervais, en étudiant le mode de répartition des mammifères dans le terrain tertiaire, a été conduit à modifier de la manière suivante la classification proposée par sir Lyell. Pour lui, le système éocène se partage en trois groupes : 1° le groupe *orthrocène* (ὄρθρος, aube) ; 2° le groupe *éocène* proprement dit ; 3° le groupe *proïcène* (πρωΐ, le matin). Il ne fait subir au système miocène aucune coupure, mais, entre le système pliocène et le terrain quaternaire, il distingue un groupe *pseudo-pliocène* qui, pour nous, fait partie du terrain jovien.

Le mot d'*oligocène* (ὀλίγος, peu) est employé par quelques géologues pour désigner un terrain qui comprend le grès de Fontainebleau, et dont la place est indécise entre les terrains miocène et éocène.

J'ai déjà dit quelle est la division qui me paraît préférable pour le terrain tertiaire (1) : c'est celle qui consiste à le scinder en deux systèmes correspondant aux deux oscillations que le sol de l'Europe a subies pendant la période néozoïque. Les détails, qui vont trouver place dans les pages suivantes, justifieront complétement cette division fondamentale du terrain tertiaire, division que M. J. Desnoyers avait déjà proposée il y a trente ans. Un des reproches que l'on peut adresser à la classification du terrain néozoïque, telle qu'elle est admise, c'est de scinder ce terrain en trois groupes dont le plus ancien a une importance hors de toute proportion avec celle des deux autres.

(1) Nous employons de préférence, pour désigner ce terrain, l'épithète de *néozoïque* qui, par sa désinence et son étymologie, se trouve en relation avec le mot paléozoïque généralement admis et avec les termes correspondants dont se compose la nomenclature que nous avons adoptée.

SÉRIE NUMMULITIQUE.

La série nummulitique commence avec les formations lacustres qui, en Europe, précédent immédiatement les plus anciennes couches à nummulites et se termine avec le gypse de Montmartre et les diverses assises qui se placent sur le même niveau. Elle correspond à la quatrième des cinq oscillations qui servent de base principale à notre classement des terrains. Elle comprend tout le terrain éocène ou tertiaire inférieur des divers auteurs. Elle se divise en deux systèmes : le SYSTÈME SUESSONIEN et le SYSTÈME PARISIEN.

Distribution géographique, mers et lacs de la période nummulitique. — Dès le commencement de cette période, une vaste mer se développait, sans solution de continuité, depuis le centre de l'Espagne jusque sur les confins de la Chine. Cette mer venait baigner le versant sud d'un continent constitué par le plateau central soudé au massif breton et accru des régions jurassienne et provençale. Au milieu de cette mer asiatico-méditerranéenne s'élevaient plusieurs îles ou presqu'îles : de ce nombre étaient celles que constituaient les Pyrénées orientales et le massif alpin. Un détroit partait de la mer qui recouvrait le nord de l'Italie, contournait les Alpes vers le nord-ouest et allait rejoindre le bassin nummulitique de Vienne.

Pendant toute la période tertiaire, la vaste dépression que limitaient les montagnes du pays de Galles et de Cor-

nouailles, le massif breton, le plateau central, les Vosges et les Ardennes, a constitué un centre de sédimentation où des bassins, changeant de rivage d'une époque à l'autre, ont été alternativement remplis par les eaux douces et par les eaux salées. Ces bassins ont reçu les strates appartenant aux séries nummulitique et proboscidienne. Cette vaste dépression était divisée en deux parties par la protubérance du Weald qui se continuait par le pointement du Boulonnais et se prolongeait, vers les Ardennes, par un seuil souterrain de terrain jurassique. Chacune des deux régions placées, l'une au nord, l'autre au sud de l'axe du Weald, est actuellement séparée en deux parties par la Manche, le Pas de Calais et la Mer du Nord. Il en résulte que les terrains déposés dans la dépression anglo-parisienne peuvent se grouper, au point de vue géographique, en quatre bassins : 1° le bassin de Paris ; 2° le bassin de Bruxelles ; 3° le bassin de Londres ; 4° le bassin du Hampshire.

Tandis que le bassin *asiatico-méditerranéen* ne recevait que des formations marines, et que, dans le bassin *anglo-parisien*, se déposaient des strates alternativement marines et lacustres, dans une petite région comprenant la Provence et la partie orientale du Languedoc, il ne se constituait que des sédiments lacustres; cette région exceptionnelle n'a pas cessé d'être recouverte par les lacs, depuis la fin de la période crétacée jusques au commencement de la période miocène.

La période nummulitique s'est terminée, comme celles qui l'avaient précédée, par un émergement général du sol et par l'apparition de lacs vastes et nombreux.

Faune, flore et pétrographie de la période nummulitique. — J'ai déjà mentionné les principaux caractères de la flore et de la faune nummulitiques (*antè*, page 319). En ce qui concerne la faune,

ses principaux caractères sont : l'absence d'ammonites et de bélemnites; la présence de mammifères qui, depuis le commencement de la période nummulitique jusqu'à l'époque actuelle, ont été de plus en plus nombreux; l'existence des nummulites formant un type spécial à la période dont nous nous occupons. Les premières nummulites se trouvent dans les calcaires qui, au Montserrat, en Catalogne, accompagnent le poudingue infranummulitique. Il est permis de penser que, si ce poudingue contenait des fossiles, les nummulites se trouveraient parmi eux et l'on peut, par conséquent, faire dater l'apparition des nummulites du commencement de la période qu'elles servent à désigner. Le terrain miocène inférieur de l'Italie paraît contenir quelques représentants de ce type. Mais ces rares exemples de nummulites dans le terrain miocène, dit M. d'Archiac, sans détruire l'unité de l'ère nummulitique, prouveraient seulement que, sur quelques points, les derniers représentants du genre ont pu survivre un peu après que la faune tertiaire inférieure avait disparu (1).

(1) Les nummulites occupent dans le bassin tertiaire de la Seine trois niveaux bien tranchés qui se prolongent en partie dans le Brabant méridional, mais qui sont moins distincts dans le bassin du Hampshire et manqueraient tout à fait dans celui de la Tamise. Ainsi la *N. planulata* caractérise les sables supérieurs du Soissonnais, s'étendant ensuite en Belgique et de l'autre côté du détroit. Les *N. Lævigata, scabra et Lamarcki* sont propres à la base du calcaire grossier; les deux premières se retrouvent en Belgique et l'une d'elles seulement existe en Angleterre. La *N. variolaria*, caractéristique des sables de Beauchamp, se montre sur la frontière nord de la France, aux environs de Bruxelles et dans le sud du Hamphshire. La *N. planulata* est très répandue dans les fragments de calcaires épars à la surface de la craie, sur la rive droite de l'embouchure de la Gironde. Dans le bassin de l'Adour, les nummulites ne paraissent pas exister dans les marnes sableuses à crustacés, qui sont les assises les plus basses de la formation. Les *N. planulata* et *Ramondi* sont

Relations entre le terrain nummulitique méditerranéen et le terrain tertiaire de Paris.— Le terrain nummulitique méditerranéen possède une puissance bien plus grande que celle du terrain éocène du bassin de Paris auquel il correspond; on n'y a pas encore rencontré de débris de mammifères, et des déterminations erronées avaient fait supposer que sa faune comprenait un certain nombre d'espèces crétacées; sur beaucoup de points, ce terrain est en stratification concordante avec la craie; enfin ses roches ont plutôt le faciès des roches secondaires que de celles qui composent le terrain tertiaire dans le nord de l'Europe. Je rappelle tous ces faits afin de montrer comment on a pu longtemps se refuser à reconnaître l'âge véritable de la formation nummulitique méditerranéenne.

Le terrain nummulitique avait d'abord été considéré comme représentant la craie blanche dans le midi de l'Europe. Cette manière de voir a cessé d'être soutenable dès que l'on a eu découvert dans le midi de l'Europe la véritable craie

les premières qui se montrent, au dessus, dans l'étage que caractérisent les échinodermes. Dans les quatre assises qui composent ensuite l'étage nummulitique supérieur de ce pays, on trouve que les *N. exponens*, *spira* et *mamillata* appartiennent à la première, la *N. perforata* à la seconde, la *N. biarritzensis* à la troisième et que les *N. intermedia* et *vasca* caractérisent surtout les derniers membres de la série. Dans la région centrale et septentrionale des Pyrénées, deux autres petites nummulites (*N. Leymeriei* et *Ramondi*) se montrent fréquemment dans les couches les plus basses de la formation, tandis que la N. *biarritzensis* appartiendrait aux supérieures. Dans les Pyrénées, les Alpes, les Apennins, ainsi que dans le bassin de la Seine, les assises inférieures sont caractérisées par de petites espèces, les moyennes par celles qui atteignent les plus grandes dimensions, et les supérieures par des espèces également petites. Nous ferons remarquer, en outre, que sur le pourtour des Alpes, c'est *au dessus* des couches à nummulites que se trouvent principalement les bancs remplis de coquilles dont les identiques appartiennent au calcaire grossier. (D'Archiac.)

blanche, et lorsque M. de Verneuil a eu constaté, en 1836, la superposition des couches à nummulites sur la craie à *Belemnitella mucronata*. Vers cette époque, M. Deshayes rangeait déjà les couches à nummulites dans le terrain tertiaire inférieur, mais M. de Verneuil pensait qu'il était peut-être prématuré de formuler une opinion sur l'âge de ces couches, en s'appuyant sur des considérations conchyologiques incomplètes.

Sur la *Carte géologique de la France*, publiée en 1841, le terrain nummulitique est confondu avec le terrain crétacé, et, comme lui, colorié en jaune. Deux ans après la publication de cette carte, Dufrénoy publiait une note où il admettait l'association des couches nummulitiques au groupe crétacé ; seulement, il considérait ces couches comme formant le membre supérieur de ce groupe et il les plaçait au même niveau que le calcaire pisolitique de Meudon.

En 1844, tandis que M. d'Archiac persistait à se prononcer en faveur du parallélisme des couches nummulitiques et du terrain tertiaire inférieur, plusieurs géologues émettaient l'opinion que la formation nummulitique est un terrain à part se rattachant soit à la série crétacée, soit à la série tertiaire, et peut-être à l'une et à l'autre à la fois. Parmi ces géologues se trouvait M. Leymerie qui avait proposé pour le groupe nummulitique le nom de *terrain épicrétacé*. La même année, la question de l'âge des couches à nummulites était de nouveau soulevée, et, tandis que M. Michelin déclarait que ces couches font partie de la série tertiaire, MM. Sismonda et Agassiz les classaient dans la craie supérieure. Trois ans après, M. Elie de Beaumont rangeait les couches à nummulites dans le terrain secondaire, tout en les considérant comme formant un étage complétement distinct de tous les étages crétacés.

La faune conchyliologique des couches à nummulites de

la région méditerranéenne a un caractère tel que M. Leymerie et M. Elie de Beaumont, l'un vers la fin de 1844 et l'autre en 1848, croyaient devoir modifier leur ancienne manière de voir et considérer ces couches comme formant le premier terme de la série tertiaire, tout en étant antérieures au terrain tertiaire des environs de Paris. C'était tout simplement déplacer la limite qui sépare la série tertiaire de la série crétacée. Le terrain à nummulites, disait M. Leymerie, est l'*éocène* du Midi, de même que les sables inférieurs du Soissonnais et l'argile plastique du bassin de Paris commencent l'*éocène* du Nord; mais ces deux *éocènes* ne sont pas contemporains. Quant à M. Elie de Beaumont, il admettait également la dénomination d'*éocène* pour les couches à nummulites, mais il distinguait un *éocène antè-pyrénéen* ou terrain *nummulitique méditerranéen*, et un terrain *nummulitique du Soissonnais* ou *éocène post-pyrénéen*.

L'opinion soutenue d'abord par M. Deshayes, puis par d'autres géologues, tend à se généraliser. Mais le désaccord pourra persister encore quelque temps chaque fois qu'il s'agira d'établir d'une manière rigoureuse le parallélisme des diverses assises du terrain nummulitique méditerranéen et du terrain tertiaire inférieur des environs de Paris.

XVII. — SYSTÈME SUESSONIEN.

Synonymie; division en étages. — Le système suessonien (partie inférieure du *terrain éocène* ou *tertiaire inférieur; terrain éocène anté-pyrénéen*, Elie de Beaumont; *terrain nummulitique méditerranéen; étage suessonien*, d'Orbigny; *faune or-*

throcène, P. Gervais; *système épicrétacé*, Leymerie) peut se diviser en quatre étages : — I. Etage *infra-nummulitique*, comprenant : le *groupe d'Alet* ou *étage sous-nummulitique*, d'Archiac; notre étage *montserrien*; *terrains lacustres de Montolieu* (Aude) avec *Physa prisca* et de *Rilly* avec *Physa gigantea*. — II. Etage *suessonien inférieur*, comprenant : le terrain *nummulitique inférieur*, d'Archiac; notre étage *castellien*; les *sables inférieurs du Soissonnais* ou *sables de Bracheux*; les *sables de Thanet*. — III. Etage *suessonien moyen*, comprenant : le terrain *nummulitique moyen*, d'Archiac; notre étage *igualadien*; l'*argile plastique de Paris*; la *série de Woolwich*. — IV. Etage *suessonien supérieur*, comprenant : le terrain *nummulitique supérieur*, d'Archiac; notre étage *manrésien*; les *sables supérieurs du Soissonnais* ou de *Cuise la Motte*; l'*argile propre de Londres*.

Distribution géographique, faune et pétrographie du terrain suessonien. — On constate pour l'étage suessonien un fait que nous avons déjà reconnu pour la plupart des terrains plus anciens : c'est que les roches calcaires dominent dans le sud de la France et de l'Europe, tandis que les roches détritiques sont plus répandues vers le nord; il est difficile de ne pas voir, dans ce fait qui offre un certain caractère de généralité, une influence climatologique. Le terrain suessonien présente deux faciès : l'un qui est spécial à la région asiatico-méditerranéenne et l'autre qui appartient au bassin anglo-parisien. Ces différences sont telles que l'on s'explique sans peine comment quelques géologues se sont longtemps refusés à admettre le synchronisme des strates suessoniennes des environs de Paris et des strates nummulitiques du bassin méditerranéen. Dans le bassin anglo-parisien, on n'observe que des roches ayant tout à fait

le faciès tertiaire, indiquant une action geysérienne très faible et résultant surtout de phénomènes détriques assez intenses : ce sont des grès et des sables alternant avec des argiles, et disposés de telle sorte qu'on peut distinguer dans l'ensemble qu'ils constituent trois grandes zones : une zone moyenne, argileuse (*argile plastique de Paris*) intercalée entre deux zones de sables et de grès (*sables du Soissonnais inférieurs* et *supérieurs*). Dans le bassin méditerranéen les roches du terrain nummulitique ont un faciès presque complétement jurassique ; ce sont des calcaires souvent compactes, formant des assises puissantes et régulières qui alternent avec des bancs marneux. Dans ce bassin, comme dans celui du nord de la France, ces roches forment trois zones superposées : une zone moyenne, essentiellement marneuse, entre deux zones essentiellement calcaires. Au dessous de cet ensemble se trouvent les poudingues et les grès infra-nummulitiques qui n'ont pas de représentant bien certain dans le bassin de Paris ; au dessus se placent d'autres poudingues appartenant au système parisien.

Ce que j'ai dit (*antè*, page 674) peut donner une idée de la répartition des eaux marines pendant la période suessonienne. Les mers de cette période se partageaient en deux groupes bien distincts non seulement par leur distribution géographique, mais aussi par leur faune et la nature des sédiments qu'elles ont reçus. Les mers du nord se composaient, comme on l'a vu, de quatre bassins ; le plus important d'entre eux était celui qui se développait autour de Soissons et de Paris. Les mers du sud constituaient le vaste bassin asiatico-méditerranéen ; l'une d'entre elles occupait une partie de l'emplacement des Alpes ; une autre s'étendait depuis les environs de Bordeaux jusqu'en Catalogne en passant à travers les Pyrénées centrales et en envoyant vers les Corbières un prolongement sous forme

de golfe. Ces deux mers étaient séparées par la région lacustre comprenant la Provence et le Languedoc.

J'ai déjà indiqué quelques uns des caractères de la faune suessonienne (*antè*, pages 319 et 676). Je me bornerai à insister sur l'absence des mammifères dans les bassins du sud et sur leur rareté dans les bassins du nord; les espèces connues sont au nombre de quatre: *Arctocyon primævus, Palæonyctis gigantea* et *Coryphodon anthracoïdeum*, P. Gervais, dont M. Hébert fait deux espèces : *C. eocænus* et *C. Owenii.*

Le système suessonien dans le bassin parisien. — On peut partager le terrain suessonien du bassin parisien, abstraction faite de la formation lacustre de Rilly, en trois étages : 1° *Les sables marins inférieurs du Soissonnais* ou de *Bracheux* ou de *Beauvoisis* (*Glauconie inférieure* et *huitième groupe*, en partie, d'Archiac). Ce sont des sables plus ou moins grossiers, souvent mélangés de parties glauconieuses et de veines de fer hydroxydé; leur nuance varie du blanc grisâtre au gris bleuâtre ou verdâtre. On y rencontre des ossements de tortues, quelques débris de poissons et beaucoup d'impressions de plantes. Les fossiles y sont très nombreux ; les espèces les plus communes sont : *Voluta depressa, Pleurotoma cancellatum, Buccinum fissuratum, Fissurella costaria, Panopæa remensis, Pholadomya cuneata, Cardita pectuncularis, Crassatella compressa.* — 2° L'*argile plastique* et le *lignite de Paris* (*premier terrain d'eau douce,* Brongniart; *huitième groupe,* en partie, d'Archiac). Cet étage peut se diviser en quatre assises : *a*) Le *conglomérat de Meudon,* que l'on observe dans cette localité et à Bougival, au contact de la craie, qui est formé de rognons de craie et de calcaire pisolitique cimentés par de l'argile, et qui renferme des mollusques d'eau douce. *b*) L'*argile plastique.* Cette as-

sise, qui, dans quelques parties a plus de 16 mètres d'épaisseur, est réduite dans d'autres à un lit mince d'un ou deux décimètres. Inférieurement, elle est onctueuse, tenace, ne renfermant que des traces de chaux et de fer, absolument infusible au feu de porcelaine, ce qui explique ses usages. Vers le haut, cette argile devient sablonneuse, noirâtre, fossilifère; sous cet aspect, elle constitue le banc que les ouvriers appellent *fausse glaise*. Elle renferme de nombreux débris de végétaux, des amas de lignite pyriteux, des troncs d'arbres silicifiés et du succin. Les argiles pyriteuses sont quelquefois exploitées pour la fabrication de l'alun. *c*) *L'argile à Cyrena cuneiformis*. Cette assise est formée d'argiles très fossilifères, impures, alternant avec des sables et renfermant : *Teredina personata*, *Cyrena antiqua*, *C. cuneiformis*, *Unio Wateleti*, *Planorbis lævigatus*, *Melanopsis buccinoïdea*, *Paludina lenta*, *Cerithium turbinatum*, *Buccinum semicostatum*. *d*) *L'assise à Ostræa Bellovacina*, comprenant des sables grisâtres, des amas de coquilles brisées et de débris de roches roulées, des bancs d'huîtres, des grès et des poudingues Les principaux fossiles sont : *Pholas Levesquei*, *Cytherea Lamberti*, *Cyrena antiqua*, *C. cuneiformis*, *Ostræa sparnacensis*, *O. Bellovacina*, *Neritina sincenyensis*, *Physa Heberti*, *Planorbis Lamberti*. L'étage de l'argile plastique est très développé dans toute la partie nord du bassin de Paris, depuis cette dernière ville jusqu'à Saint Quentin. On le retrouve aux environs de Bruxelles, dans le bassin de Londres, et dans celui du Hampshire. Les *sables supérieurs du Soissonnais* ou de *Cuise la Motte*, (*huitième groupe*, en partie, d'Archiac). D'après M. l'abbé Lambert, cet étage peut se partager en deux assises parfaitement distinctes quant à leur composition minéralogique : *a*) l'assise *inférieure* ou *siliceuse*, très développée dans les dépar-

tements de l'Aisne et de l'Oise, où elle a jusqu'à 30 et 40 mètres de puissance. Elle est composée de sables tantôt blanchâtres, tantôt jaunâtres, passant quelquefois à un grès ferrugineux et renfermant des rognons tuberculeux (*têtes de chat*). *b*) L'assise *supérieure* ou *glauconieuse*, composée de glaises presque toujours impures, noirâtres, très plastiques et de sables glauconieux, non coquilliers, mais contenant quelquefois des débris de tortues. Entre ces deux assises se place une couche fossilifère où se trouvent les fossiles si nombreux et si bien conservés des sables du Soissonnais, tels que : *Rostellaria lævigata, Neritina Schmideliana, Cerithium acutum, Natica hybrida, Melanopsis Dufrenii, Cardium hybridum, Pectunculus polymorphus, Ostræa multicostata, Nummulites planulata, N. scabra.*

En Angleterre, le système suessonien débute par les *sables de Thanet*, dans l'île de ce nom, sur la côte du Kent. Ces sables, d'origine marine, renferment les *Pholadomya cuneata, Cyprina Morrisii, Corbula longirostris* et se placent sur le même niveau que les sables de Bracheux. L'argile plastique de Paris se retrouve dans les bassins de Londres et du Hampshire avec les mêmes caractères pétrographiques, et y constitue la *série de Woolwich et de Reading*. Dans quelques lits, tout à fait inférieurs, on rencontre par bancs l'*Ostræa bellovacina*. En plusieurs endroits, des coquilles d'eau douce, telles que *Melania inquinata* et *Cyrena cuneiformis*, se mêlent aux coquilles marines et indiquent les embouchures des fleuves. Dans le bassin de Londres, le troisième étage du terrain suessonien est constituée par une argile (*argile propre de Londres*) brune ou gris bleuâtre, avec *septaria* recherchés pour la fabrication du ciment romain. A l'île de Sheppey, qui lors de la période suessonienne faisait partie d'un estuaire, l'argile de Londres a fourni de nombreux débris de corps

organisés, des fruits de palmiers indiquant un climat tropical, des débris de tortues, de crocodiles et de *Coryphodon eocænus*. L'argile plastique de Londres est représentée par les couches de Bagnor, dans le bassin du Hampshire. Ses principaux fossiles sont : *Belosepia sepioïdes, Nauticus centricus, Nautilus (Asturia) zigzag, Voluta nodosa, Rostellaria macroptera, Axinus angulatus, Leda amygdaloïdes*. (Lyell.)

Le terrain nummulitique dans la région asiatico-méditerranéenne. — Dans les Corbières, le système suessonien se divise, d'après M. d'Archiac, en quatre étages : 1° Le *groupe d'Alet*, puissant de 300 mètres environ, complétement dépourvu de fossiles, et se composant de poudingues, de grès, de marnes rouges et de calcaires gris blanchâtre. — 2° L'étage *nummulitique inférieur* essentiellement calcaire, débutant par des calcaires en plaquettes, remplis de milliolites. Fossiles : *Neritina Schmideliana, Alveolina sphæroïdea, Nummulites planulata, N. lucasana, N. Ramondi*. — 3° L'étage *nummulitique moyen* (*marnes à turritelles, marnes bleues de Couiza*), est formé de marnes bleuâtres alternant avec quelques bancs de calcaires marneux. Il est excessivement riche en fossiles, dont les principales espèces sont : *Turritella imbricataria, T. atacina, Cardita minuta, Lucina corbarica, Operculina ammonea, O. granulosa, Nummulites Leymeriei, N. Ramondi, Trochocyathus sinuosus, T. bilobatus*. — 4° L'étage *nummulitique supérieur* comprend des calcaires jaunes ou gris, des marnes et des grès brunâtres ou jaunâtres, des psammites et accidentellement des poudingues. Les fossiles y sont assez abondants ; on y rencontre notamment l'*Operculina canalifera* et, avec les *Nummulites Ramondi* et *Leymeriei*, la *N. Biarritzensis*.

Dans la Catalogne, le terrain nummulitique atteint une puis-

sance qui est au moins de 1200 mètres. Il comprend quatre étages correspondant exactement à ceux dont se compose le terrain nummulitique des Corbières. 1° L'étage *montserrien* (Montserrat) se divise en deux assises : l'*inférieure*, complétement dépourvue de fossiles, offre des poudingues et des macignos rougeâtres ; l'assise *supérieure*, composée de marnes, de macignos et de calcaires argileux, montre les premières nummulites. 2° L'étage *castellien* (Castelloli, Castellvell, près du Montserrat) est principalement calcaire. Il se partage en deux assises : l'assise *inférieure* offre des alternances de couches marneuses et calcaires et renferme les premières grandes nummulites; la *supérieure* est exclusivement calcaire. Aux nummulites (*N. perforata*) se mêlent des polypiers, des natices (*Natica longispira, N. brevispira*). — 3° L'étage *igualadien* (Igualada, ville de Catalogne), presque exclusivement marneux, est formé de marnes bleuâtres ou grisâtres, alternant avec des bancs de calcaires marneux. Il est très riche en débris de corps organisés, du moins dans le voisinage des deux étages entre lesquels il est intercalé, car dans sa partie moyenne, les marnes passent à l'état de marnolite et se montrent peu fossilifères. Cet étage fournit, à cause de son caractère nettement tranché, un point de repère précieux ; c'est, dit M. d'Archiac, en parlant de l'étage nummulitique moyen, un excellent horizon géognostique sur la position duquel il ne doit exister aucune incertitude. — 4° L'étage *manrésien* (Manresa, ville de Catalogne) est formé des strates comprises entre les marnes igualadiennes et les grès supra-nummulitiques sans fossiles. Ces strates sont des calcaires de couleur claire, grisâtres ou jaunâtres, tantôt seuls, tantôt mêlés à des grès argileux de la même nuance. La faune de cet étage reçoit un caractère particulier des nummulites qui s'y montrent de nouveau en abondance et des

échinodermes (*Eupatagus ornatus, Spatangus obesus, Echinometra Thomsoni*) dont les débris sont très nombreux. Cet étage renferme également les *Cerithium giganteum, C. cornucopiæ, Neritina Schmideliana, Ostræa latissima*, etc.

Le terrain nummulitique accompagne les Pyrénées sur ses deux versants et pénètre quelquefois dans l'intérieur de cette chaîne. C'est lui qui constitue tout le Mont Perdu où l'on voit, accompagnés de macignos et de calcaires noirâtres, des calcaires marneux fissiles pétris de *Nummulites Leymeriei*. Il constitue les falaises de Biarritz et s'étend, sous les Landes, jusqu'en Chalosse. D'après M. Delbos, on y distingue trois étages principaux : 1° Les *marnes à térébratules*, très développées dans la Chalosse. — 2° Le *calcaire à nummulites*. Cette assise la plus importante de tout le système, consiste en calcaires marneux ou sableux, d'un gris bleuâtre ou jaunâtre, avec *Serpula spirulæa, Natica sigaretina, Ostræa gigantea, Nummulites perforata, N. complanata, Orbitolites sella*. — 3° Le *calcaire à Eupatagus ornatus*, qui se montre dans les falaises de Biarritz, qui est composé de calcaires sableux ordinairement jaunâtres, recouverts par des sables de la même nuance, avec *Turritella carinifera, Ostræa gigantea, Operculina ammonea, Nummulites Biarritzensis, Eupatagus ornatus*. Le système suessonien reparaît dans la Gironde, à Royan, sous forme de couches calcaires avec petites nummulites, recouvertes de sable avec huîtres (*Ostræa multicostata*).

Tout autour du massif alpin, on constate l'existence de strates nummulitiques qui, dans cette région, représentent les divers étages du système suessonien ; ces strates forment une zone qui se prolonge depuis les environs de Nice jusque dans la Savoie et de là dans le Valais. Les localités fossilifères les plus célèbres (le Mont Faudon, les Diablerets, etc.) appar-

tiennent les unes à la partie inférieure, les autres à la partie supérieure du terrain suessonien ; on ne possède pas encore de matériaux suffisants, de même que pour les gisements de l'Italie (Ronca, Castel Gomberto, Monte Bolca), pour établir leur classement d'une manière certaine.

Formations lacustres correspondant à la période suessonienne. — Ces formations peuvent se partager en trois groupes : 1° Les unes sont placées à la base de la série nummulitique, ce sont les sables et l'argile de Rilly, ainsi que le calcaire à *Physa prisca* de Montolieu (Aude) et de la Provence. 2° Les autres, dans le bassin de Paris, alternent avec des formations marines. 3° Il en est enfin qui se sont constituées pendant que le bassin méditerranéen ne recevait que des strates marines. La plus importante d'entre elles est celle qui se développe depuis la Provence jusque dans le département de l'Aude et qui comprend le calcaire de Rognac avec *Lychnus*, les calcaires à *Planorbis pseudo-rotundatus* des environs d'Aix, et les calcaires lacustres avec lignite de la Caunette et de Minerve (Aude). Des couches à *Lychnus* se retrouvent à Segure (Aragon).

XVIII. — SYSTÈME PARISIEN.

Synonymie; division en étages. — Le système parisien (terrain *éocène post-pyrénéen*, en partie, Elie de Beaumont ; partie supérieure du *terrain éocène* et du *terrain tertiaire inférieur; étage parisien*, A. d'Orbigny ; *septième et sixième groupes*, d'Archiac; *première formation marine*, Brongniart ; l'*argile plastique* de Londres ; les *grès et conglomérats supra-nummulitiques;* le *flysch* de la Suisse ; le *grès moucheté* des

Hautes Alpes; les *macignos et schistes à fucoïdes* de diverses contrées) se divise en trois étages : — I. Etage *parisien inférieur* ou du *calcaire grossier* (groupe *éocène* proprement dit, Paul Gervais). — II. Etage *parisien moyen* ou des *sables de Beauchamp*. — III. Etage *parisien supérieur* ou du *gypse de Montmartre* (groupe *proïcène*, P. Gervais).

Distribution géographique, faune et pétrographie du terrain parisien. — Pendant la première partie de la période parisienne, les mers ont offert à peu près la même répartition que pendant la période suessonienne, mais elles paraissent avoir eu une étendue et une profondeur moindres, si l'on en juge par la nature et l'extension des dépôts qu'elles ont reçus. Cette diminution progressive dans la masse des eaux marines occupant le continent européen a eu pour résultat, ainsi que je l'ai déjà dit (*antè*, page 673), d'amener l'émergement presque complet de ce continent pendant la seconde partie de la période parisienne. Aussi l'étage parisien supérieur est-il presque en totalité composé de formations lacustres.

Les mammifères de la période parisienne appartiennent à deux groupes distincts au point de vue chronologique : le groupe *éocène* proprement dit ou du calcaire grossier et des sables de Beauchamp, et le groupe *proïcène* ou du gypse de Montmartre. L'un est caractérisé par le genre *Lophiodon* et l'autre par le genre *Palæotherium*. Les principales espèces sont pour le premier groupe : *Lophiodon giganteum, L. isselense, L. parisiense, L. occitanicum, L. tapiroïdeum*, etc., *Propalæotherium isselanum, Dichobune robertianum* ; — pour le second groupe, *Palæotherium magnum, P. medium, P. crassum, P. velaunum, P. girondicum*, etc., *Paloplotherium minus, Xiphodon gracile, Anoplotherium commune, Dichobune*

leporinum. Le terrain parisien possède un grand nombre de gisements fossilifères très connus, tels que ceux d'Issel (Aude) et de Montmartre pour les mammifères, de Monte Bolca pour les poissons, d'Aix en Provence pour les insectes, de Grignon pour les mollusques.

Les roches caractéristiques du terrain parisien sont le calcaire grossier de Paris, les schistes du flysch de la Suisse, les grès et poudingues, ordinairement rougeâtres, des Pyrénées, etc. Les strates, presque toutes lacustres, du terrain parisien supérieur, sont constituées en partie par des calcaires plus ou moins compactes accusant une action geysérienne assez énergique en faveur de laquelle témoignent également les masses éruptives qui se sont mêlées aux couches nummulitiques du Vicentin pendant leur dépôt, le gypse de Montmartre, d'Aix, etc., les roches sidérolitiques et le bohnerz de la Suisse, etc.

Le système parisien dans le nord de la France et en Angleterre. — L'étage *parisien inférieur* peut se partager en cinq assises : 1° Le *calcaire grossier inférieur* ou *glauconie grossière*. 2° Le *calcaire à nummulites* (vulgairement la *pierre à liards*) que l'on observe surtout aux environs de Compiègne et de Laon et qui contient les *Nummulites lævigata*, *Lamarckii* et *scabra*. 3° Les *couches à Dentalium* et à *Cerithium giganteum*, composées de calcaires tendres, d'une nuance jaune, avec nombreux moules de coquilles. 4° Le *calcaire à milliolites*, consistant en un calcaire terreux, mélangé de sable fin, très fossilifère ; c'est à ce calcaire qu'appartiennent les riches gisements de Grignon, de Parnes, etc. Cette assise se termine par un dépôt fluvio-marin. Parmi les fossiles que l'on rencontre dans les assises précédentes, nous mentionnerons : *Nautilus Lamarckii*, *Cerithium giganteum*, *Terebellum*

convolutum, Voluta spinosa, Turritella imbricataria, T. carinifera, Fusus longævus, Pectunculus pulvinatus, Cardium porulosum, Lucina gigantea. 5° Le *calcaire grossier supérieur,* aussi nommé *calcaire à cérites* à cause du grand nombre de coquilles de ce genre qu'il contient quelquefois (*Cerithium interruptum, C. angulosum, C. lapidum, C. denticulatum*). A la partie supérieure de cette assise se trouvent les calcaires crayeux, appelés *caillasses*, qui sont accompagnés de couches de silex et de marnes feuilletées verdâtres avec coquilles terrestres, lacustres et marines. Fossiles : *Cerithium lapidum, C. cristatum.* — L'étage *parisien moyen*, ou des *sables de Beauchamp,* se compose de sables jaunes, passant vers leur partie supérieure à un grès quelquefois lustré. Les fossiles s'y montrent très nombreux; les plus répandus sont : *Cerithium bicarinatum, Oliva laumontiana, Melania lactea, Buccinum Andrei, Ancillaria inflata, Cardium aviculare, Perna Lamarckii.* — L'étage *parisien supérieur* comprend trois assises : 1° Le *calcaire de Saint Ouen* (*travertin inférieur*). Cette assise, entièrement lacustre, se compose de marnes, d'argiles avec silex résinite, de bancs puissants de calcaire marneux. Il est surtout développé aux environs de Paris et dans quelques localités de l'Aisne. Fossiles : *Planorbis rotundatus, Cyclostoma mumia, Lymnæa longiscata, Paludina pusilla.* 2° *Marnes à Pholadomya Ludensis*, marnes sableuses, d'origine marine, très fossilifères, qui s'observent dans les environs de Paris et à Ludes, près de Reims. 3° Le *travertin de Champigny*, formation lacustre dans laquelle se trouve compris le *gypse de Montmartre,* et qui se compose de couches marneuses ou argileuses, blanchâtres, grisâtres, quelquefois vertes. Cette assise s'observe surtout aux environs de Paris et dans les départements de l'Aisne et de Seine et Marne.

On observe dans la Loire Inférieure quelques lambeaux isolés d'un terrain qui se place sur le même niveau que le calcaire grossier de Paris.

Le système parisien ne dépasse pas le département de l'Aisne; il reparaît en Belgique, aux environs de Bruxelles, où il est formé de sables plus ou moins purs vers la partie inférieure, ordinairement calcarifères vers la partie moyenne, et glauconieux vers la partie supérieure. Ces sables contiennent des lits irréguliers de grès calcarifères concrétionnés; on y rencontre les *Nummulites lævigata, scabra, planulata.*

Le terrain éocène supérieur d'Angleterre peut se partager en trois groupes correspondant aux trois étages que nous avons distingués dans le terrain parisien : 1° Les *couches de Bagshot* (bassin de Londres) consistant en sable siliceux avec *Venericardia planicosta, Turritella sulcifera* et *Nummulites lævigata,* et les *couches de Bracklesham* (Hampshire) avec *Cerithium giganteum, Conus deperditus, Voluta latrella, Lucina serrata.* 2° Les *sables de Headon Hill* et l'*argile de Barton,* dans le bassin du Hampshire, renfermant *Voluta ambigua, Mitra scabra, Terebellum convolutum, Crassatella sulcata, Cardita gibbosa, Corbula pisum, Chama squamosa, Nummulites variolaria.* 3° Les *séries de Headon, d'Osborne* et de *Bembridge,* formant, dans l'île de Wight, une succession de couches d'origine d'eau douce et d'eau saumâtre; on y a rencontré des empreintes de *Flabellaria Lamanonis* et des débris de *Palæoterium magnum, P. medium, Anoplotherium commune.*

Groupe fucoïdien; flysch; grès supra-nummulitiques, etc. — Dans toute la région comprenant les Alpes et les Pyrénées, le système parisien inférieur est représenté par une vaste formation de roches détritiques, presque entièrement dépourvues de débris

d'animaux, mais contenant en abondance des fucoïdes (*Chondrites æqualis, C. Targioni, C. furcatus*) dont la présence suffit pour démontrer que cette formation, que l'on peut désigner sous le nom de *groupe fucoïdien*, est bien d'origine marine. En Catalogne, le groupe fucoïdien est constitué par des grès et des conglomérats rougeâtres, sans fossiles, régulièrement stratifiés, et formant une masse d'une grande puissance. Dans les Pyrénées centrales, il se compose d'un poudingue à gros éléments calcaires (*poudingue de Palassou*), alternant avec des couches de grès dont le ciment est souvent marneux ou argileux, blanchâtre ou jaunâtre, souvent bariolé de rouge. Dans les Alpes, le groupe fucoïdien est constitué par le *flysch*; on désigne ainsi, en Suisse, un puissant ensemble de schistes calcaires de couleur sombre, de calcaires sableux assez compactes et de grès d'un gris foncé; ces strates portent de nombreuses empreintes de fucoïdes. Sur le même niveau que le flysch se placent : le *grès moucheté* des Hautes Alpes, le *macigno à fucoïdes* d'Italie et le *grès de Vienne* (Autriche).

La partie du flysch que l'on désigne sous le nom de *macigno alpin* renferme, comme le calcaire de Monte Bolca, auquel elle paraît correspondre, des empreintes de poissons. Au dessus de ce macigno, que nous plaçons sur le même niveau que le calcaire grossier, vient le *grès de Taviglianaz* (nom d'un châlet, près des Diablerets); ce grès est formé de tuf volcanique ou trappéen stratifié que nous considérons, avec M. Favre, comme étant du même âge que le terrain du Vicentin et du Véronais auquel Brongniart a donné le nom de *calcaréo-trappéen*; celui-ci serait, selon nous, le terme correspondant du gypse de Montmartre.

C'est également au terrain parisien supérieur que nous rattachons les *faluns à nummulites de Gaas,* dans le bassin de

l'Adour; ces faluns sont considérés par quelques géologues comme dépendant du terrain tongrien ou oligocène.

Formations lacustres correspondant au terrain parisien. — Dans le département de l'Aude, le groupe focoïdien est remplacé par une formation lacustre que sa situation et la présence de débris de *Lophiodon* doivent faire considérer comme étant synchronique avec le calcaire grossier. C'est cette formation que l'on désigne quelquefois sous le nom de *mollasse lacustre* ou de *grès de Carcassonne ;* on y a rencontré à Issel, près de Castelnaudary, les *Lophiodon isselense, L. tapirotherium, L. occitanicum* et *Propalæotherium isselanum*. Cette formation lacustre se prolonge jusqu'en Provence, où elle est recouverte par des couches rougeâtres, argiles, grès et poudingues.

Au dessus de cette formation lacustre, appartenant au terrain parisien moyen et supérieur, se trouvent d'autres strates, également lacustres, que l'on observe dans l'Aude, l'Hérault, le Gard et les Bouches du Rhône. Ces strates, qui se placent sur le même niveau que le gypse de Montmartre, renferment également du gypse à Apt, à Aix, à Castelnaudary, etc. ; elles contiennent des feuilles d'un palmier, le *Flabellaria Lamanonis,* et sont caractérisées par les débris de *Palæotherium magnum, P. medium, P. minus, Anoplotherium commune*. La formation dont ces strates font partie se prolonge dans le Dauphiné, où elle est constituée par de l'argile plastique et des sables bigarrés ; dans la Bresse, où elle comprend des argiles blanches, jaunes, rouges ou marbrées, que l'on observe aux environs de Mâcon, ainsi qu'à Curis, au pied du Mont d'Or Lyonnais, et que des sondages ont permis de retrouver à Pont de Vaux et à Bourg, au dessous de la mollasse; c'est enfin, au terrain parisien supérieur que se rattache le *premier terrain*

sidérolitique du pourtour du Jura et de la Suisse, terrain sidérolitique qui renferme des débris de *Palæotherium* à Soleure et dans le val de Délémont.

L'étage parisien inférieur, toujours constitué par des assises lacustres, se retrouve encore dans le bassin de l'Aquitaine, où il comprend le terrain lacustre du Périgord et la mollasse lacustre du Fronsadais avec *Palæotherium*.

Les divers étages du système parisien sont représentés en Auvergne, près d'Aurillac, et dans le Velay, par des assises lacustres, parmi lesquelles se trouvent celles qui, au Puy en Velay, renferment du gypse et des débris de *Palæotherium*.

En terminant cette étude du terrain nummulitique, je place ici un tableau qui résume les opinions que nous venons de formuler sur les relations des strates nummulitiques de la région méditerranéenne et du terrain tertiaire inférieur des environs de Paris; ce tableau indique aussi la manière de voir de M. d'Archiac sur le même sujet.

RÉGION.		BASSIN DE PARIS.	
méditerranéenne.		(M. d'Archiac.)	(L'auteur.)
Gypse de Castelnaudary		Gypse de Montmartre	Gypse de Montmartre.
Grès de Carcassonne.			Sables de Beauchamp. Calcaire grossier.
Terrain nummulitique	supérieur	Sables de Beauchamp.	Sables suess. supérieurs.
	moyen	Calcaire grossier.	Argile plastique,
	inférieur	Sables suess. supérieurs.	Sables suess. inférieurs.
Groupe d'Alet		Argile plastique. — Sables suess. inférieurs. — Rilly.	Rilly.

SÉRIE PROBOSCIDIENNE.

La série proboscidienne commence avec le grès de Fontainebleau et se prolonge jusqu'aux assises qui supportent les premières formations alluviales. Elle débute avec les strates qui se sont déposées lorsque la cinquième oscillation commençait à se produire; mais elle ne correspond qu'à une partie de cette cinquième oscillation qui ne paraît pas avoir encore atteint son dernier terme. Elle comprend le terrain tertiaire moyen et superieur et se divise en deux systèmes : le SYSTÈME MIOCÈNE et le SYSTÈME PLIOCÈNE.

C'est pendant la période proboscidienne qu'ont vécu les grands mammifères et notamment ceux de la famille des proboscidiens (dinothériums et mastodontes); de là la désignation que nous proposons de donner à cette période.

Dès le commencement de cette période, les eaux océaniennes envahissaient tout l'espace actuellement occupé par la Méditerranée, ainsi qu'une partie des régions voisines ; en même temps, dans le centre et le nord de l'Europe, elles s'accumulaient sur divers points. Mais ces accumulations d'eau salée n'étaient pas destinées, comme la Méditerranée, à persister jusqu'à notre époque; vers le commencement de la période pliocène, elles disparaissaient, et les dépressions du sol qu'elles avaient occupées devenaient les bassins hydrographiques de l'époque actuelle.

XIX. — SYSTÈME MIOCENE.

Synonymie ; division en étages. — Le *système miocène* (*terrain miocène* ou *tertiaire moyen* de divers auteurs français ; *terrain miocène* de Lyell, plus son *éocène supérieur ; terrain de la mollasse* des géologues suisses ; étages *tongrien et falunien*, d'Orbigny) se divise en trois étages :

I. — Etage *tongrien* (Tongres, en Belgique), comprenant : le terrain *éocène supérieur,* Lyell ; le *grès de Fontainebleau ;* les *sables et grès supérieurs ;* le *quatrième groupe,* d'Archiac ; l'étage *tongrien* ou *falunien inférieur*, d'Orbigny ; le *calcaire à astéries* dans la Gironde ; l'étage *bormidien,* Pareto ; les *conglomérats infra-miocéniques* du littoral méditerranéen.

II. — Etage *falunien inférieur,* comprenant : le *troisième terrain d'eau douce ;* le *troisième groupe,* d'Archiac ; le *calcaire lacustre supérieur ;* le *calcaire de Beauce ;* la *mollasse lacustre* de Suisse ; l'étage *falunien supérieur*, en partie, d'Orbigny ; les *faluns de Bazas* et le *calcaire lacustre de Saucats ;* l'étage *langhien,* Pareto ; les *marnes miocéniques* de Montpellier et du littoral méditerranéen.

III. — Etage *falunien supérieur,* comprenant : le *deuxième groupe,* en partie, d'Archiac ; l'étage *falunien supérieur,* d'Orbigny ; les *faluns* de Touraine ; les *faluns jaunes* de Bordeaux ; la *mollasse coquillière ;* la *mollasse marine* et le *muchelsandstein* de Suisse ; le *calcaire moellon,* Marcel de Serres ; l'étage *serravallien*, Pareto ; le *calcaire miocénique* méditerranéen

Distribution géographique du terrain miocène. — J'ai dit que la Méditerranée actuelle date de la période miocène ; pendant cette période, cette mer s'étendait depuis l'est de l'Es-

pagne jusqu'en Grèce, recouvrait presque toute l'Italie et baignait le pied méridional des Alpes. En même temps, elle contournait ce massif à l'ouest et au nord en pénétrant, sous forme de détroit, entre les Alpes, d'un côté, le plateau central et le Jura, de l'autre. Arrivée en Suisse, elle se divisait en deux parties; d'une part, elle se dirigeait par la Bavière du côté du bassin de Vienne, de l'autre, elle passait, à travers la vallée du Rhin, depuis Bâle jusqu'à Mayence, contournait le massif hercynien en passant par Cassel et Magdebourg, recouvrait tout le nord de l'Allemagne, la Hollande et la Belgique sans pénétrer en Angleterre. Dans le nord de la France, elle formait autour de Fontainebleau un petit bassin intérieur auquel succédait, pendant l'époque falunienne, un autre bassin compris entre Orléans et Angers. Dans le sud-ouest de la France, elle formait un golfe dont les bords passaient par Blaye, Marmande, Condom et Bayonne.

Pendant que des dépôts d'origine exclusivement marine étaient reçus dans les mers dont je viens d'indiquer sommairement la répartition, le centre de l'Espagne et celui de la France étaient en partie occupés par des lacs où se constituaient des dépôts d'origine exclusivement lacustre. Enfin, dans quelques dépressions, telles que les bassins de la Garonne, de la Loire et du Rhône, tandis que les parties les plus basses étaient recouvertes par les eaux salées, les parties plus élevées étaient occupées par des eaux douces ou par des eaux saumâtres. La ligne séparant, dans un même bassin, la zone des eaux salées de celle des eaux douces, était sujette à se déplacer d'une époque à l'autre, ce qui donnait lieu sur certains points à des alternances de formations marines et de formations lacustres. Quelquefois on voit une même assise passer insensiblement du faciès marin au faciès lacustre sans que rien ne soit changé dans son aspect

et sa composition minéralogique. La recherche des conditions dans lesquelles s'effectuait la séparation des eaux douces et des eaux salées constitue un problème que nous avons abordé. (Voir tome I, page 591.) Remarquons enfin que, vers le milieu de la période miocène, un léger exhaussement dans le sol a eu pour effet d'amener l'émergement des contrées où les bassins marins avaient peu de profondeur; il en est résulté que, dans certaines régions, le terrain miocène se compose de deux groupes marins séparés par un groupe lacustre.

Faune, pétrographie du terrain miocène. — Je me bornerai à mentionner ici les principales espèces de mammifères qui font partie de la faune miocène dont j'ai déjà dit quelques mots (*antè*, page 321). Parmi les genres spéciaux à la période miocène se trouvent les genres *Dinotherium* et *Anthracotherium*, et, parmi les espèces caractéristiques, les *Mastodon longirostris* ou *angustidens*, *M. tapiroïdes*, *Dinotherium giganteum*, *Rhinoceros incisivus*, *Hippotherium gracile*, *Anthracotherium magnum*, *Listriodon splendens*, *Machairodus cultridens*, etc.

Les débris de mammifères se rencontrent abondamment dans une bande de terrain miocène qui accompagne, du côté du nord, le pied des Pyrénées; cette bande fait partie de la formation d'eau douce qui a été reçue dans un lac occupant le bassin de l'Aquitaine et limité par les Pyrénées. C'est le long de cette bande que se trouvent les gisements de Simorre (Gers) et de Sansan, près d'Auch. Je citerai encore, comme ayant fourni de nombreux débris de mammifères de la période miocène, les environs d'Issoire, de Saint Gérand le Puy (Velay), de la Chaux de Fonds (Suisse), d'Eppelsheim (Allemagne), et Pikermi, près d'Athènes, où M. Gaudry a trouvé une faune si riche.

Les roches dont se compose le terrain miocène offrent, pour

la plupart, un aspect qui indique qu'elles se sont déposées dans des eaux agitées et peu profondes; même lorsqu'elles résultent d'une sédimentation chimique et qu'elles sont, en majeure partie ou en totalité, calcaires, elles ont presque toujours une texture plus ou moins grossière. Il est vrai que les roches miocéniques que nous pouvons observer ont été reçues dans des bassins très resserrés ou sur le bord des mers plus vastes; si, dans ce dernier cas, il nous était donné de les étudier à une certaine distance des côtes, nous les verrions acquérir une compacité plus grande, une stratification plus régulière et prendre, dans une certaine mesure, le faciès des roches jurassiques ou crétacées; il doit en être ainsi notamment pour les roches miocéniques du centre de la Méditerranée. Les mers de la période miocène étaient habitées par une nombreuse population de mollusques dont les débris, accumulés sur certains points, ont donné origine à des roches telles que les *faluns* de la Loire et de l'Aquitaine. Les bassins maritimes ou lacustres étaient entourés de vastes continents où les phénomènes d'érosion se développaient avec beaucoup d'énergie et d'où provenaient la plupart des matériaux dont les roches miocéniques sont formées. Ces matériaux ont donné naissance aux roches détritiques, telles que la *mollasse* et le *nagelflhue* de la Suisse.

Le terrain miocène dans les bassins de la Seine et de la Loire. — Dans cette région, l'étage tongrien peut se diviser en deux assises : 1° Les *marnes à cythérées* (*marnes vertes*, *marnes à Cytherea* ou *Cyrena convexa*). Cette assise se compose de marnes de diverses nuances, avec fossiles marins tels que : *Cerithium plicatum*, *C. cinctum*, *Cyrena convexa*, *C. elegans*, *Cardium obliquum*, *Ostræa longirostris*, *O. canalis*, *O. cyathula*. Dans la masse qu'elle constitue se trouve enclavée, à

l'ouest et au sud de Paris, la formation lacustre désignée sous le nom de *calcaire de Brie* (*travertin moyen*); cette formation renferme des bancs interrompus de silex caverneux, exploité comme pierre meulière à la Ferté sous Jouarre. 2° Les *sables et les grès de Fontainebleau* (*sables et grès marins supérieurs*). Cette assise, dont l'épaisseur varie de 20 à 50 mètres, se compose de sables quartzeux, très fins, blanchâtres ou jaunâtres, tantôt purs, tantôt argileux, mêlés à des grès tantôt calcarifères, tantôt très siliceux et d'un aspect lustré. Elle s'observe dans la forêt de Fontainebleau, à Orsay, à Romainville, etc. Parmi les fossiles qu'elle renferme, je mentionnerai : *Cerithium cristatum. C. lamellosum, C. mutabile, Pectunculus pulvinatus, Cytherea lœvigata, Corbula rugosa, Ostræa flabellula.* — L'étage falunien inférieur repose immédiatement sur l'assise précédente. Il est d'origine lacustre. Il comprend les *meulières de Montmorency*, dépôt d'argile rouge plus ou moins sableuse, avec de gros rognons de silex meulière, coquilles d'eau douce et *Chara medicaginula.* Au sud d'une ligne tirée de Montereau à Dreux, ce dépôt est remplacé par le *calcaire de Beauce*, qui est compacte, souvent concrétionné, à tubulures, alternant avec des marnes blanches, plus rarement vertes, et contenant des parties siliceuses qui rappellent les meulières. Les principaux fossiles sont : *Potamides Lamarckii, Lymnœa cornea, Planorbis cornea, Helix Lemani.* Ce calcaire se poursuit jusque sur les bords de la Loire, entre Gien et Blois, en passant à des marnes et à des argiles, au dessus desquelles on observe, près de Malesherbes (Loiret), un *calcaire à Helix* (*Helix Lemani, H. Morognesi, H. Eristani*). — Avec l'assise précédente se termine la longue série des dépôts qui ont été reçus dans le bassin parisien. L'étage falunien supérieur n'existe qu'au sud de Paris, dans

le Loiret et le long de la Loire depuis Blois jusqu'au delà d'Angers. Il se compose exclusivement de faluns. Les faluns renferment des débris de mammifères terrestres (*Mastodon angustidens*, *Dinotherium Cuvieri*, *Listriodon splendens*), et de mammifères marins, des côtes silicifiées de lamentin, et de nombreux mollusques, tels que : *Conus Mercati*, *Cypræa affinis*, *Murex turonensis*, *Fusus rostratus*, *Cerithium tricinctum*, *Natica olla*, *Arca diluvii*, *Pectunculus glycimeris*, *Venus clathrata*, *Ostræa virginica*. Au sud de la Loire, il y a des argiles gris-jaunâtre, avec grains de quartz, provenant du terrain granitique du plateau central et qui sont le prolongement lacustre ou fluviatile des faluns; on y trouve les mêmes débris de vertébrés réunis à des coquilles terrestres ou d'eau douce. C'est également au système miocène qu'appartient la partie du terrain lacustre de l'Auvergne qui a fourni des débris d'*Anthracotherium*, etc.

Le terrain miocène dans l'est et le sud-est de la France. — L'étage tongrien est représenté dans la Gironde par les calcaires grossiers exploités à Bourg, ainsi que sur d'autres points des environs de Bordeaux, et, désignés sous le nom de *calcaire à astéries*, à cause des nombreux osselets d'astéries qu'ils renferment. Les principaux fossiles qu'on y rencontre sont : *Turbo Parkinsoni*, *Natica crassatina*, *Cerithium Charpentieri*, *Cardita Basteroti*. Le calcaire à astéries repose sur des bancs à *Ostræa longirostris;* il est recouvert par des argiles avec empreintes de *Cerithium plicatum*, *C. margaritaceum*. Il a pour terme correspondant, dans le bassin de l'Adour, les *faluns bleus à Natica crassatina* de Dax. — Entre ces dépôts, qui appartiennent à l'étage tongrien, et ceux qui dépendent de l'étage falunien supérieur, il y a, dans tout le

centre de l'Aquitaine, d'importantes formations lacustres qui correspondent au calcaire de Beauce et qui renferment *Helix girondica*, *Lymnæa girondica*, *Planorbis subpyrenaïcus*, *Paludina Dubuissoni*, *Potamides Lamarckii*, *Dreissena Brardi*. Ces formations lacustres semblent ne manquer tout à fait que sur le bord septentrional et méridional de l'Aquitaine; vers le nord, elles passent à des formations saumâtres, avec *Cyrena Brongnarti*, *Cerithium plicatum*, *C. margaritaceum*, ou à des formations marines; dans le Bazadais, elles sont divisées en deux parties par les *faluns de Bazas*, avec *Pyrula Lainei*, qui passent à des lits coquilliers avec *Ostræa crispata* et *O. undata*. D'après M. Tournouër, le calcaire de Beauce serait, dans la Gironde, représenté en deux fois, avec les mêmes fossiles; les *faluns de Bazas*, qui n'auraient pas de terme correspondant dans le bassin de la Loire et de la Seine, relieraient les deux termes extrêmes du groupe miocène. — Les *faluns jaunes* de Dax et ceux de Bordeaux, de Saucats et de Léognan sont les véritables équivalents de ceux de Touraine. Ils renferment des coquilles nombreuses et bien conservées, telles que : *Oliva Basteroti*, *Voluta Lamberti*, *Pyrula rusticula*, *Turritella triplicata*, *T. Archimedis*, *Pecten burdigalensis*, *Clypeaster marginatus*, *Scutella subrotunda*, *Operculina complanata*.

Les faluns des bords de la Garonne et du bassin de l'Adour appartiennent à un même ensemble qui est recouvert par les sables des Landes; ils s'avancent jusques dans les environs d'Orthez, d'Aire, de Condom, puis sont remplacés par une formation entièrement lacustre qui succède sans transition à la formation marine. La formation lacustre, dont la puissance totale est de plus de 400 mètres, renferme les gisements fossilifères de Simorre et de Sansan; ces gisements ont fourni des débris de *Mastodon longirostris*, *Dinotherium giganteum*,

Anchitherium aurelianense, ce qui indique que les couches qui les renferment appartiennent au terrain falunien supérieur. Certaines strates lacustres de Moissac se rattachent à l'étage tongrien, car on y a rencontré l'*Anthracotherium magnum*.

Dans toute la vallée du Rhône, depuis la Provence et le Languedoc jusque dans la Bresse, on peut encore trouver des représentants pour les trois étages du groupe miocène. L'absence de conglomérats, au dessous des marnes bleues miocéniques des environs de Montpellier, nous a fait admettre que l'étage tongrien n'existe pas dans cette localité. En Provence, cet étage est représenté par des couches lacustres immédiatement superposées au gypse d'Aix et caractérisées, dans leur partie inférieure, par la *Cyrena semistriata* et, dans leur partie supérieure, par les *Cerithium Lauræ* et *Melania Lauræ*. Au dessus vient un autre groupe, également lacustre, qui s'observe à Aix et près de Manosque et qui se retrouve à Armissan, près de Narbonne. Ce groupe renferme les *Planorbis rotundatus* et *cornu*, les *Lymnæa symetrica* et *fabula*, le *Cerithium Lamarckii* et la *Paludina Dubuissoni*; il se termine par des couches à *Helix Ramondi* et correspond au calcaire de Beauce; il est recouvert par la mollasse marine.

La mollasse marine forme une zone continue qui accompagne le Rhône jusqu'à Valence; elle reparaît par lambeaux dans les environs de Lyon, à Saint Fons et à Neuville l'Archevêque. Divers dépôts très atténués, se rattachant à la mollasse marine, se montrent dans toute la Bresse centrale. A Coligny (Ain), ils sont superposés en stratification discordante à un calcaire d'eau douce, avee *Cerithium Lamarckii*. Ce calcaire, signalé par M. Benott, correspond d'après lui au calcaire de Beauce. Il repose sur des argiles bleues, lignitifères, qui sont sans doute un faible représentant de l'étage tongrien.

Le terrain miocène dans le bassin méditerranéen. — En Italie, le système miocène se divise en trois étages. L'étage *inférieur,* que l'on peut distinguer sous le nom d'étage *bormidien* parce qu'il est très développé dans le bassin de la Bormida, se montre sur tout le versant septentrional de l'Apennin et entoure certains ilôts de calcaire à fucoïdes épars le long du Pô et dans le pays de Tortone. Il comprend à sa base des dépôts fluvio-lacustres avec bancs de lignite; ces dépôts sont recouverts par des conglomérats plus ou moins grossiers, passant à des mollasses avec nombreuses coquilles, polypiers et quelques nummulites, telles que la *Nummulites intermedia.* A cet étage appartient, sur le versant méridional de l'Appennin ligurien, le bassin si connu de Cadibona, qui renferme du lignite et où l'on a trouvé de nombreux débris de plantes et des restes d'*Anthracotherium magnum.* — L'étage *moyen* qu'on peut appeler étage *langhien,* parce qu'il se montre sur une grande étendue dans les hautes collines nommées les *Langhe,* traversées par les vallées supérieures du Belbo et de la Bormida, se retrouve aussi dans les collines comprises entre Superga et Valence. Il est toujours caractérisé par des marnes sableuses, généralement grisâtres et par des mollasses de la même couleur; ces marnes sont généralement assez pauvres en fossiles. — L'étage *supérieur* ou *serravallien* forme une rangée de hautes collines près du bourg de Serravalle : il est presque en totalité composé de sables quartzeux jaunâtres qui alternent d'abord avec des mollasses grises; ces sables sont quelquefois assez fortement liés par un ciment calcaire pour fournir une bonne pierre de taille. Ils renferment de nombreux débris de corps organisés presque toujours roulés et en fragments. (Pareto.)

Dans les environs de Montpellier, le système miocène se compose de deux groupes. Le groupe *inférieur* est formé de

marnes bleuâtres, tirant quelquefois sur le vert, et plus ou moins sableuses. Ces marnes sont partagées en assises assez régulières par des veines d'un grès assez dur. Elles abondent en débris de corps organisés et surtout en ostracées; l'*Ostræa longirostris* en est le fossile le plus commun. On y trouve encore: *Ostræa obliquata*, *Cerithium plicatum, C. cinctum, C. marginatum, Pyrula clathrata, Arca diluvii.* — Au dessus des marnes bleues s'élève une série de marnes généralement jaunâtres et de calcaires à texture lâche, composés presque exclusivement de débris de corps organisés que relie un ciment grossier : c'est un véritable falun en roche, que Marcel de Serres a désigné sous le nom de *calcaire moellon*, parce qu'il est employé dans le sud-est de la France pour bâtir. Le calcaire moellon est tantôt compacte et blanchâtre, tantôt jaunâtre et tufacé; plus rarement il prend un faciès corallien. Les principaux fossiles sont : *Turritella terebralis, T. triplicata, Cerithium marginatum, Conus deperditus, Haliotis Philberti, Pectunculus pulvinatus, Cytherea undata, Perna Soldani, Pecten scabrellus, Ostræa crassissima.* (P. de Rouville.)

Le mont Jouy, près de Barcelone, est entièrement formé de terrain miocène qui peut s'y diviser en quatre assises : 1° une masse puissante de grès quartzeux et de conglomérat polygénique. – 2° Des couches de grès rougeâtre avec *Turritella cathedralis.* — 3° De nombreuses alternances de grès quartzeux et de sable avec *Turritella rotifera* et *T. Archimedis.* — 4° Quelques bancs de grès argileux jaunâtre avec *Venus* et autres bivalves. — Sur d'autres points de la province de Barcelone, l'assise inférieure renferme du gypse exploité et la troisième assise est formée d'un calcaire semblable au calcaire moellon de Montpellier.

Le terrain miocène occupe autour de la Méditerranée une

zone qui varie beaucoup de largeur et qui est sujette à de faibles interruptions. Cette zone ne comprend presque que des dépôts littoraux, et, par conséquent, des strates variant beaucoup d'une contrée à une autre aux points de vue pétrographique et paléontologique. Aussi serait-il difficile, avec le peu de matériaux que l'on possède, d'indiquer, pour les dépôts miocènes du littoral méditerranéen, une classification générale où chacun d'eux viendrait prendre la place qui lui appartient; la rareté de débris de mammifères dans ces dépôts ne permettrait pas non plus d'établir un parallélisme rigoureux entre eux et les formations correspondantes des autres parties de l'Europe. Toutefois il est naturel de rattacher les conglomérats infra-miocéniques, tels que ceux de la Bormida et des environs de Barcelone, à l'étage tongrien, et les calcaires supra-miocéniques, tels que le calcaire moellon de Montpellier, au terrain falunien supérieur. Quant aux marnes bleues miocéniques des environs de cette ville, on peut les considérer comme dépendant de l'étage falunien inférieur.

Le terrain miocène en Suisse, en Allemagne, en Belgique, etc. — En Suisse, le terrain miocène est presque en totalité constitué par une roche à laquelle les géologues de ce pays ont donné le nom de *mollasse* et qui est un grès quartzeux avec ciment argilo-calcaire et grains verdâtres. A cette roche se mêlent des couches argileuses et quelques bancs calcaires. Elle passe, du côté des Alpes, à un poudingue à gros éléments dont le Righi est formé et qui a reçu le nom de *nagelflue mollassique*. Il y a une *mollasse d'eau douce* (avec lignite, comme à Lausanne) et *une mollasse marine;* l'une correspond à l'étage falunien inférieur et l'autre à l'étage falunien supérieur. En outre, la mollasse marine passe quelquefois à la mollasse d'eau douce.

Dans le val de Délémont, on observe, au dessus du nagelflue jurassique, des marnes et des calcaires renfermant les espèces des sables de Fontainebleau et des marnes marines de Montmartre ; puis des marnes et des calcaires d'eau douce de l'âge du calcaire de Beauce ; et enfin un grès coquillier marin renfermant abondamment les fossiles des faluns de Touraine. A une certaine distance, ce dernier dépôt passe à un terrain de transport provenant des Vosges et contenant des *Unio,* des cyrènes, des mélanopsides, des néritines, et des ossements de *Rhinoceros incisivus* et de *Dinotherium giganteum.*

Aux environs de Mayence, de Manheim et de Francfort, existe un petit bassin où divers dépôts représentent les trois étages de la série miocène. A l'étage tongrien correspondent des couches marines avec *Leda Deshayesiana, Corbula pisum, Perna Soldani,* recouvertes par des marnes d'eau saumâtre avec *Cyrena semistriata, Cerithium plicatum, Mytilus Faujasii, Perna Soldani ;* on rencontre dans ces dépôts l'*Anthracotherium magnum.* Au dessus vient un calcaire appartenant sans doute à l'étage falunien inférieur et contenant en abondance des coquilles terrestres, des cerithes, tels que *Cerithium plicatum ;* on y trouve aussi le *Rhinoceros incisivus.* Plus haut, on rencontre un autre calcaire où abondent des paludines, des littorinelles, plusieurs espèces de *Dreissena ;* parmi les mammifères, on signale l'*Hippotherium gracile* et le *Rhinoceros incisivus.* Cette série du bassin de Mayence se termine par le sable d'Eppelsheim avec *Dinotherium giganteum.* (Lyell.)

Dans le sud de l'Allemagne, on connaît depuis longtemps la ressemblance des coquilles du bassin tertiaire de Vienne avec celles des faluns de Touraine. M. d'Orbigny a montré aussi que les foraminifères de ce bassin sont les mêmes que ceux des faluns. Parmi les foraminifères de Vienne, le genre *Am-*

phistegina est très caractéristique et M. d'Archiac suppose qu'il doit prendre la même place parmi les foraminifères de la période miocène que les nummulites dans la période éocène. Quelques personnes pensent que le bassin de Vienne comprend des couches tertiaires de différents âges, les couches les plus profondes que l'on ait atteintes par les puits artésiens étant plus anciennes que les faluns. (Lyell.)

L'étage tongrien est constitué, en Angleterre, par la série de Hempstead, colline située dans l'île de Wight et qu'il ne faut pas confondre avec une colline du même nom située près de Londres. Cet étage existe à Rupelmonde, près d'Anvers, et dans le Limbourg, où se trouve la ville de Tongres qui lui donne son nom. En Angleterre et en Belgique, il se compose de bancs marneux ou sableux, marins ou fluvio-marins, renfermant : *Nautilus zigzag*, *Cerithium plicatum*, *Paludina lenta*, *Leda Deshayesiana*, *Corbula pisum*, *Cyrena semistriata*, *Ostræa ventilabrum*. Quant à l'étage falunien, il n'existe pas en Angleterre; en Belgique, il est représenté par les couches du Bolderberg, près de Hasselt.

XX. — SYSTÈME PLIOCÈNE.

Synonymie; division en étages. — *Terrain subapennin*, Brocchi. — *Crag* des géologues anglais. — *Terrain tertiaire supérieur* des divers auteurs. — *Old pliocène*, Lyell. — *Etage subapennin*, Alc. d'Orbigny, moins ce que cet auteur place à tort dans le terrain tertiaire et qui appartient au terrain jovien. — *Etage astien*, de Rouville. — Étages *tortonien* et *astien*, Pareto.

Le système pliocène se divise en deux étages faciles à distinguer l'un de l'autre par leur situation relative et leurs carac-

tères pétrographiques. On peut réserver à l'étage inférieur (*mattajone* des géologues italiens) le nom de *tortonien*, de Tortone, où il est permis de l'étudier avec facilité, et donner à l'étage supérieur le nom d'*Astien*, d'Asti, ville du Piémont placée au centre d'une contrée où cet étage est très développé.

Distribution géographique, mers et lacs de la période pliocène. — Les mers de la période pliocène avaient presque la même répartion que de nos jours, mais elles occupaient un peu plus d'étendue. C'est ce que l'on constate notamment lorsque l'on compare la méditerranée pliocène à celle de notre époque. Les eaux de la méditerranée pliocène s'avançaient, en formant ordinairement des golfes, sur les nombreux points du littoral où nous pouvons observer le terrain subapennin. En France, le rivage de la méditerranée pliocène atteignait les environs de Perpignan, de Montpellier et de Bollène, dans le département de Vaucluse. Toute l'Italie était encore sous les eaux, à l'exception de la chaîne des Apennins qui formait une île étroite et allongée entre la Toscane et la Calabre.

J'ai déjà dit (tome II, page 504) que, vers le commencement de la période subapennine, l'apparition du système des Alpes Maritimes avait eu pour résultats : 1° le refoulement de la mer qui occupait d'abord toute la vallée du Rhône et dont le rivage se trouvait porté à Bollène (Vaucluse) ; 2° l'établissement d'une barrière qui, en retenant les eaux du côté du nord, avait donné origine au lac de la Bresse. Ce lac, limité à l'est par le Jura, à l'ouest par la chaîne de montagnes qui se prolonge du Morvan jusque dans le Velay, se développait de Tournon jusqu'à Gray. Des lacs moins étendus existaient dans le département des Basses Alpes, au sud de Digne et, dans le Sundgau, entre Bâle et Belfort. D'autres lacs, ayant à peine quelques kilomètres de

longueur, se montraient dans l'intérieur du Jura et sur quelques autres points de l'Europe ; l'un d'eux, celui d'Œningen, a reçu des dépôts que leur richesse en débris de corps organisés a rendus célèbres

Faune et pétrographie du terrain pliocène. — Avec le commencement de la période pliocène a coïncidé un nouvel abaissement dans la température accusé par un accroissement d'énergie dans les phénomènes de transport, et par divers changements apportés à la faune et à la flore. Pourtant rien n'indique que les glaciers ou les neiges éternelles aient alors pris possession des massifs montagneux.

Aux détails, que j'ai déjà fournis sur la faune pliocène (*antè*, page 321), j'ajouterai que les mammifères de la période pliocène forment une faune bien caractérisée, dont les genres sont ceux du monde actuel, sauf trois ou quatre exceptions, et dont les espèces sont en général spéciales. Les débris qui nous ont fait connaître cette faune de mammifères ont été recueillis dans les sables d'Asti, dans les dépôts de Cucuron (Vaucluse), et surtout dans les sables de Montpellier, qui se sont déposés dans un golfe où les courants fluviatiles entraînaient de nombreux animaux dont les débris allaient se mêler à ceux des animaux vivant dans les eaux marines. Les espèces les plus caractéristiques de la faune pliocène sont : *Mastodon brevirostris*, *M. Borsoni*, *Rhinoceros megarhinus*, *Tapirus minor*, *Hipparion prostylum*, *Ursus minutus*, *Felis Christolii*, etc. Le genre *Elephas* n'existait pas encore pendant l'époque pliocène. Le gisement fossilifère le plus célèbre de cette époque est celui d'Œningen ; on y a recueilli de nombreux débris de plantes, d'insectes, de poissons, d'ophidiens, de tortues, d'oiseaux et de mammifères ; le plus remarquable de ces débris

est la grande salamandre nommée *Andrias Scheuzeri* (*Homo diluvii testis*).

Les roches détritiques constituent presque à elles seules le terrain pliocène ; ce caractère est la conséquence, non seulement des conditions climatologiques dans lesquelles s'est déposé ce terrain, mais aussi et surtout de ce que nous ne le connaissons que sous son faciès littoral. On s'explique ainsi pourquoi les formations fluvio-marines s'associent fréquemment aux strates dont se compose le terrain pliocène, et comment les roches calcaires n'entrent pour ainsi dire jamais dans sa composition, si ce n'est à l'état de *crag* ou de calcaire coquillier. Sans doute, le terrain pliocène renferme des roches de cette nature, mais elles se trouvent à une certaine distance des côtes, sur les points encore immergés.

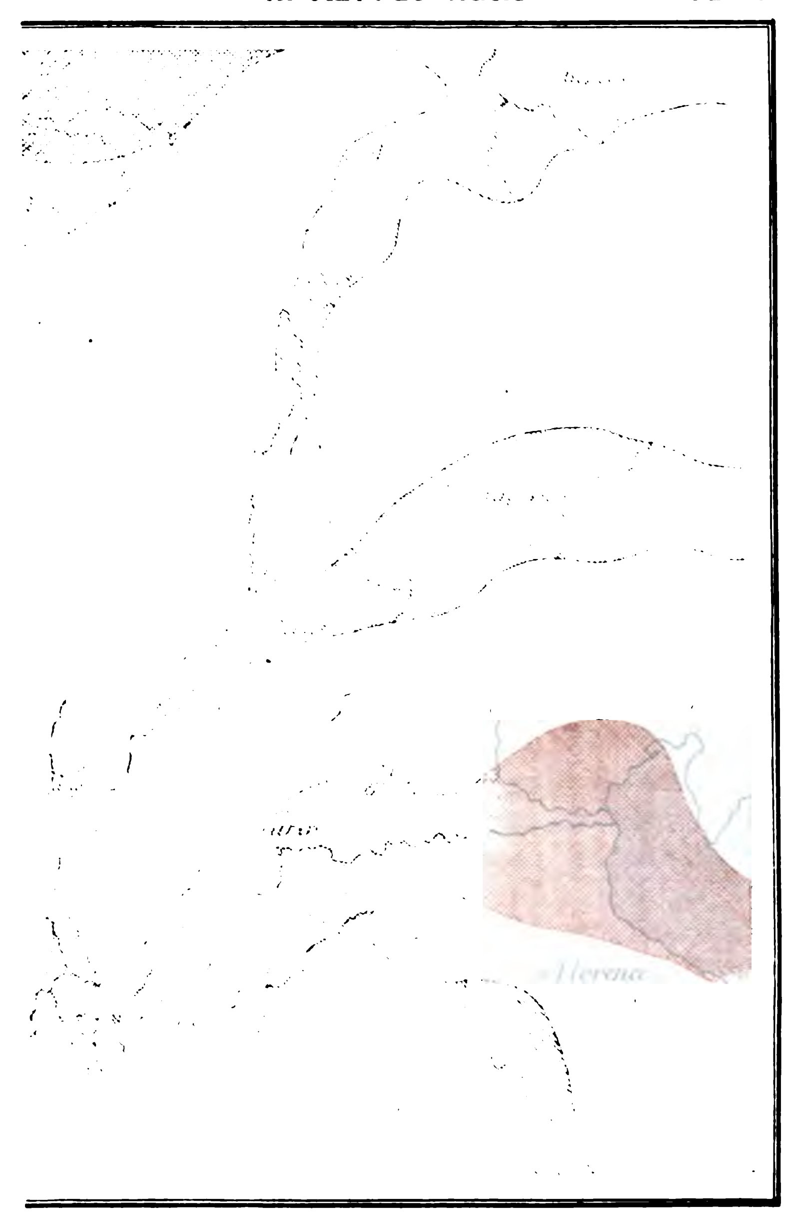
Le terrain pliocène sur le littoral méditerranéen. — En Italie, le terrain subapennin occupe une zone assez étendue autour d'Asti et constitue les collines qui se succèdent au pied de la chaîne des Apennins, depuis le Piémont jusqu'en Calabre. Ce terrain, qui, près de Parme, atteint jusqu'à 600 mètres de puissance, se montre partout parfaitement divisible en deux parties correspondant aux deux étages dont le système pliocène est normalement composé : la partie *inférieure* est constituée par des marnes bleues, quelquefois brunâtres, grisâtres, ou blanchâtres, fréquemment mélangées de paillettes de mica ; la partie *supérieure* est formée de sables quartzeux, ordinairement colorés en jaune. C'est dans les marnes bleues que se trouvent le lignite de la Valseriane et le gisement qui, près de Volterra et de Castellina (Toscane), fournit l'albâtre gypseux au monde entier. Les marnes qui, dans ces deux localités, contiennent le gypse sont fortement soulevées ; le gypse

CARTES DES

MERS

MIOCÈNE.

PLIOCÈNE.



est enclavé dans les marnes ; il y forme tantôt de grosses masses arrondies, à surfaces mamelonnées, tantôt des couches épaisses. Ces marnes laissent échapper des sources salées qui ont amené la découverte de bancs de sel gemme.

Sur le versant septentrional de l'Apennin, l'étage *pliocène inférieur* ou étage *tortonien* est composé, dans le bas, de marnes bleuâtres, alternant avec quelques bancs peu réguliers de cailloux roulés, et avec d'autres bancs peu épais d'une mollasse marneuse gris bleuâtre, qui est parfois disposée en gros nodules aplatis. C'est dans cette première assise qu'on rencontre beaucoup de polypiers, appartenant particulièrement aux genres *Turbinolia* et *Stephanophyllia*, ainsi qu'un grand nombre de coquilles, telles que *Anolax inflata, Conus antiquus, C. raristriatus, C. ventricosus, Buccinum gibbum, Trochus patulus, Turritella triplicata, T. imbricataria, Voluta rarispina, Ranella marginata, Natica helicina.*

Au dessus de ces marnes et de ces mollasses se développe ordinairement la formation gypseuse ; en plusieurs endroits, il y a des bancs très puissants de cailloux roulés et de sables qui la recouvrent ; c'est avec ces bancs que, le plus souvent, se trouvent des alternances de couches marines et de couches avec coquilles d'eau douce et saumâtre ; de petits lits de lignite et de bois bituminisé y sont réunis. Souvent aussi il y a, à la partie supérieure de l'étage, une assise de calcaire grossier ou de sables calcaires agglutinés très riches en peignes (*Pecten dubius*) et en térébratules (*Terebratula ampulla, T. bipartita*). Cette assise, sur laquelle est bâtie Castellarcuato, si célèbre par ses gisements de fossiles appartenant à l'étage dont il est ici question, termine l'étage tortonien ; elle se montre sur une grande étendue de pays et on la retrouve sur le versant méridional des Apennins. C'est dans les environs d'Asti

que l'étage *subapennin supérieur* ou *astien* s'observe sur une plus grande étendue et avec un plus grand développement ; le long du cours du Tanaro et de ses affluents, des sections naturelles mettent à découvert un grand nombre des couches qui le constituent; ainsi, à Annone, on voit, à la partie inférieure des collines, une couche de marne sableuse grisâtre, dans laquelle sont de nombreuses petites corbules (*Corbula gibba*), des natices, des dentales et la *Venus rugosa;* au dessus il y a un banc de sables jaunâtres assez désagrégés, contenant des pectoncles et des peignes larges et nombreux, puis un autre banc également de sables jaunes, mais beaucoup plus agrégés et même, en quelques points, réunis en nodules de différentes formes et d'une assez grande dureté, contenant des peignes très abondants, des *Pinna*, la *Panopœa Faujasii*, etc. ; une couche de même nature, mais contenant aussi un grand nombre d'huîtres presque disposées en bancs, comme au fond de la mer actuelle, se montre à ce niveau en beaucoup de points de la contrée. Cet ensemble se termine par une assise de marne sableuse jaunâtre et rougeâtre qui appartient très probablement à un étage plus récent. (Pareto.)

Les sept collines de Rome sont en totalité composées de terrain subapennin recouvert de lambeaux de terrain quaternaire. A leur partie inférieure, on observe les marnes bleues de l'étage tortonien et, au dessus, les sables jaunâtres de l'étage astien. Les fossiles se montrent très répandus dans l'un et l'autre étage. Sur le mont Aventin, le Vatican et le Capitole, les sables jaunâtres supportent un conglomérat appartenant au terrain jovien inférieur et ce conglomérat est recouvert à son tour par des lits d'un tuf calcaire qui a incrusté des roseaux et des coquilles terrestres récentes.

Le terrain pliocène existe à Cucuron (Vaucluse), où il est

constitué par des marnes bleues, avec *Melanopsis Lus-Hani*, que plusieurs géologues placent à la partie supérieure du terrain miocène et qui nous paraissent plutôt devoir être rangées à la partie inférieure du terrain pliocène. A Montpellier, le terrain pliocène est représenté par les sables à *Ostræa undata*. Ces sables, dont l'épaisseur est de 40 mètres environ, sont jaunâtres, quelquefois blanchâtres et renferment des coquilles fossiles presque toutes indéterminables; mais ils sont très riches en débris de mammifères terrestres ou marins. Vers leur partie supérieure ils renferment des concrétions blanchâtres (*têtes de chèvre*) qui, en se soudant les unes aux autres, forment des couches marneuses avec fossiles lacustres. Les sables de Montpellier se retrouvent, avec les mêmes caractères, aux environs de Perpignan et notamment à Banyuls les Aspre. Ils sont riches en débris de mammifères et en coquilles marines, telles que *Terebra duplicata, Buccinum semi-striatum, Rostellaria pes-pelicani, Turritella vermicularis, Dentalium sexangulare, Pectunculus glycimeris, Cardium hians, Cyprina Islandicoïda, Balanus tintinnabulum, Turbinolia cuneata*. L'absence des marnes bleues au dessous des sables de Montpellier et de Perpignan me semble pouvoir faire admettre que ces sables sont une dépendance de l'étage astien et que, dans ces localités, l'étage tortonien n'existe pas.

Le terrain pliocène apparaît, de distance en distance, sur le littoral méditerranéen, en conservant les mêmes caractères qu'en Italie; il s'y montre toujours divisible en deux étages: celui des marnes bleues et celui des sables jaunes. Aux environs de Barcelone, il renferme *Pecten pleuronectes, Corbula nucleus, Melanopsis Lus-Hani*.

Le terrain pliocène sur le littoral océanien. — Le terrain pliocène

est principalement limité dans la Grande Bretagne à la partie orientale du comté de Suffolk, où on lui donne le nom de *crag*. Le mot de *crag* désigne en Angleterre des masses de sable coquillier employé depuis longtemps en agriculture pour fertiliser les sols pauvres en carbonate de chaux. Le *crag de Suffolk* se divise naturellement en deux masses : l'une *inférieure* ou *crag corallin*, l'autre *supérieure* ou *crag rouge*. Le *crag inférieur* occupe une étendue de 32 kilomètres de long sur 4 à 6 de large, entre les rivières Alde et Stour. Généralement calcaire ou marneux, il se compose de coquilles, de bryozoaires, de petits coraux, et passe accidentellement à une pierre dure propre aux constructions. Parmi les espèces appartenant au *crag* corallin, nous citerons : *Voluta Lamberti, Pyrula reticulata, Astarte Omalii, Temnechinus excavatus, Fascicularia aurantium.* — Le *crag rouge* se reconnaît à la couleur ferrugineuse de ses sables et fossiles, couleur qui contraste avec celle du crag corallin qui est blanc. Ses principaux fossiles sont : *Fusus contrarius, Murex alveolatus, Cypræa coccinelloïdes, Natica granulata.* — L'épaisseur moyenne du *crag* corallin est de 6 mètres; celle du *crag* rouge dépasse rarement 12 mètres. (Lyell.)

On connaît depuis longtemps dans les environs d'Anvers des couches du même âge que le *crag* rouge et le *crag* corallin de Suffolk. Sur 200 espèces de testacés qu'on y a recueillies, deux tiers environ, et notamment la *Lingula Dumortieri,* ont été identifiées avec celles de l'Angleterre. Des lambeaux de terrains remplis de coquilles semblables à celles du *crag* de Suffolk, se retrouvent près de Valognes, en Normandie, et en plusieurs endroits au sud de Carentan. (Lyell.)

C'est au terrain pliocène et surtout à sa partie supérieure qu'appartiennent la nappe sablonneuse désignée, en Hollande

et en Belgique, sous le nom de *geest*, et les *sables des Landes*, qu'il ne faut pas confondre avec les dunes de ce pays (voir tome I, page 378). Ce sont des fonds d'anciennes mers mises à sec, comme le désert de Sahara, à la suite d'un comblement et d'un exhaussement très faible du sol. Il existe, dans les sables des Landes, un minerai ferrugineux impur que les habitants du pays appellent *alios ;* c'est dans la même formation et les faluns sous-jacents que se trouve le bitume exploité à Bastènes. Aux sables des Landes sont associés, dans le bassin de l'Aquitaine, les faluns supérieurs à *Cardita Jouanneti* de Salles et des environs de Mont de Marsan. Ces faluns supérieurs, qui paraissent correspondre aux faluns avec *Corbula nucleus* de l'Anjou, représentent l'étage tortonien, tandis que les sables des Landes appartiennent à l'étage astien.

Formations lacustres de la période pliocène. — Ces formations ont été reçues dans les lacs que nous avons mentionnés comme existant à la fin de la période subapennine. La plus importante d'entre elles est celle qui correspond au lac bressan. On peut diviser le terrain pliocène de la Bresse en deux assises qu'il nous paraît naturel de faire correspondre aux étages tortonien et astien. Dans l'assise inférieure, les roches sont ordinairement colorées en bleu plus ou moins foncé, les argiles dominent et alternent quelquefois avec du lignite imparfait et avec des amas de bois fossile ; les fossiles, assez rares, sont des lymnées, des planorbes, etc. Dans l'assise supérieure, les roches sont plus fréquemment jaunâtres que bleuâtres; les sables remplacent en partie les argiles et, sur certains points, passent à l'état de grès; les gisements de bois fossile sont moins abondants; de petits bancs de cailloux roulés annoncent le voisinage du vaste terrain de transport qui recouvre le terrain

bressan proprement dit et forme une dépendance du terrain jovien. Les lignites du terrain bressan sont exploités sur plusieurs points et notamment à la Tour du Pin (Isère), à Soblay (Ain), etc.

Les lacs du Sundgau, de l'intérieur du Jura et des Basses Alpes se sont comblés dans les mêmes circonstances que le lac bressan et les dépôts qu'ils ont reçus présentent les mêmes caractères que ceux dont se compose le terrain pliocène de la Bresse. Le terrain lacustre d'OEningen (canton de Schaffouse) paraît résulter d'une sédimentation plus tranquille et plus régulière; il est constitué par des strates très minces, presque toujours fissiles et se divisant même en feuillets dont chacun correspond sans doute à une des crues annuelles des rivières qui se jetaient dans le lac où il s'est déposé. Ce terrain débute par une assise de grès grossier bleuâtre, avec quelques veines de lignite, et se termine par une autre assise de sable argileux jaunâtre; entre ces deux assises se trouvent une vingtaine de bancs calcaires dans la partie inférieure et marneux dans la partie supérieure.

Sur le pourtour de la Méditerranée, le terrain subapennin offre, surtout dans sa partie supérieure, des nodules argilo-calcaires quelquefois assez volumineux pour constituer, par leur juxtaposition, des bancs marneux avec coquilles d'eau douce. Ce sont ces couches lacustres qui, plus développées à Dusino (Piémont), ont été désignées par M. Sismonda sous le nom de bancs *pliocènes fluvio-lacustres,* et qui, en Toscane, constituent le calcaire marneux fétide, avec planorbes et paludines, surmontant le sable marin pliocène ou alternant avec lui. Parmi les dépôts lacustres ou fluvio-marins appartenant au terrain pliocène, je mentionnerai encore l'argile qui, en Lombardie, contient le lignite exploité dans la Valseriane et les marnes qui, à Cucuron, renferment *Melanopsis Lus-Hani*

TABLE.

LIVRE DIXIÈME.

Intervention de la vie dans les phénomènes géologiques.
Fossilisation.

CHAPITRE I. — Des fossiles et de la fossilisation en général. 5

Les êtres organisés sont répandus à profusion à la surface du globe ; conséquences pour la géologie. — Nombreuses relations entre la géologie et l'étude des êtres organisés. — Définition du mot fossile employé comme substantif. — Fossilisation. — Divers résultats de la fossilisation. — Substances minérales fossilisantes. — Fossilisation des végétaux ; fossilisation par pénétration mécanique, par carbonisation, par pétrification. — Expériences de M. Gœppert. — Dendrites ; ludus ; septaria ; stylolites ; orbicules siliceux.

CHAPITRE II. — Parties qui, dans les plantes et les animaux, se prêtent le mieux a la fossilisation. 29

Parties des animaux susceptibles d'être rencontrées à l'état fossile. — Ossements et dents des vertébrés. — Organes épidermiques des vertébrés ; ichthyodorulites. — Téguments et pièces cornées des annelés ; valves des cypris, tubes des annélides, aptychus. — Coquilles et parties dures des mollusques ; test, nacre, épiderme d'une coquille. — Osselets des céphalopodes ; bélemnites. — Enveloppes et parties dures des radiaires ; échinodermes ; polypiers ; pétrospongides ; grap-

tolites. — Bryozoaires, rhizopodes, infusoires. — Coprolites; cololites; œufs d'oiseaux, etc. — Organes des végétaux qui passent le plus facilement à l'état fossile; gyrogonites. — Etat dans lequel se présentent les débris fossiles des corps organisés; application du principe de la corrélation des organes.

CHAPITRE III. — EMPREINTES PHYSIOLOGIQUES, ORGANIQUES ET PHYSIQUES. — GISEMENTS DES FOSSILES. 49

Empreintes physiologiques. — Ornithichnites.— Empreintes organiques. — Traces d'animaux perforants. — Empreintes physiques; forêts, gouttes de pluie, ondulations, etc., fossiles. — Gisements de fossiles. — Conditions qui ont présidé à l'enfouissement des vertébrés dans les strates marines. — Rareté, dans ces strates, des oiseaux et des animaux à respiration aérienne. — Enfouissement subit des animaux. — Gisements dans les strates marines ou lacustres: fossiles remaniés. — Gisements dépendant des formations terrestres; terrains de transport, cavernes à ossements, tourbe. — Fossiles du succin.

CHAPITRE IV. — DISTRIBUTION DES FOSSILES DANS LES STRATES. — FACIÈS DES TERRAINS 67

Distribution des êtres organisés à la surface du globe. — Manière de vivre des animaux marins. — Principales causes qui influent sur l'habitat de ces animaux; éloignement ou voisinage des côtes; température des eaux variant avec la profondeur et la distance relativement à l'équateur; nature du sol, fonds calcaire, de sable, de vase, etc.; agitation des eaux; configuration des côtes. — Influence de la profondeur sur la répartition des animaux marins. — Zones littorale, pélagienne, thalassique. — Changements des faciès dans le sens horizontal pour un même terrain. — Principaux faciès du terrain jurassique: faciès corallien, vaseux, de charriage, thalassique. — Travaux de M. Gressly. — Changements des faciès dans le sens vertical.

CHAPITRE V. — ROCHES D'ORIGINE ORGANIQUE. — ROLE DES POLYPIERS; ATOLLS ET RÉCIFS DE CORAUX. 93

Roches détritiques formées par l'accumulation de débris de coquilles et

d'animaux marins ; faluns, crag, calcaire coquillier, lumachelle ; origine de la craie blanche. — Roches formées par l'accumulation sur place de débris d'animaux ; calcaire à entroques, calcaire à cypris et à induses, bancs d'huîtres, de gnathodons, d'éthéries, etc. — Rôle des rhizopodes ou foraminifères ; calcaire à nummulites. — Intervention des polypiers dans l'édification de l'écorce terrestre. — Principales espèces de polypiers coralligènes. — Circonstances favorables à leur développement. — Distribution géographique et géologique des roches coralliennes. — Récifs barrières et récifs côtiers. — Atolls de l'Océanie ; leur forme annulaire expliquée par Darwin.

CHAPITRE IV. — ROCHES D'ORIGINE ORGANIQUE (*suite*). — RÔLE DES INFUSOIRES. — INTERVENTION DU FER DANS LES PHÉNOMÈNES D'ORDRE ORGANIQUE. 117

Microzoaires et microphytes. — Diatomées. — Tripoli, farine fossile, terre édule.— Fer des marais.— Infusoires des volcans. — Dusodyle. — Guano ; huaneras ou gisements de guano ; époque de leur formation. — Intervention du fer dans les phénomènes géologiques d'ordre organique.— Formation et décomposition successives des pyrites ; oxydation du sulfure de fer au contact de l'atmosphère, et sa réduction dans l'eau sous l'influence des matières animales en décomposition. — Fer des tourbières. — Influence de l'acide carbonique sur le fer hydraté. — Fer carbonaté des houillères.

LIVRE ONZIÈME.

Combustibles fossiles et roches carbonées

CHAPITRE I. — ORIGINE DES ROCHES CARBONÉES ; LEUR MODE DE FORMATION AU POINT DE VUE CHIMIQUE 133

Des combustibles et des roches carbonées en général. — Origine végétale des combustibles ; idées anciennement émises à ce sujet. — Procédés employés dans l'industrie pour la carbonisation du bois. — Expériences de MM. Fournet, Cagniard de la Tour, Gœppert, Violette, Daubrée, Baroulier. — Transformation, dans la nature, du ligneux en humus et en acide ulmique. — Carbonisation naturelle ; la

nature n'a pas recours à la chaleur, elle remplace cet agent par le temps. — Applications de ce principe. — Rôle joué par la pression dans la carbonisation. — Métamorphisme des combustibles. — Origine du graphite, du diamant et des hydrocarbures.

CHAPITRE II. — TOURBIÈRES 154

Phénomène du tourbage; circonstances favorables à l'établissement des tourbières. — Rôle des sphaignes dans les tourbières. — Végétation des tourbières; anciennes forêts sous jacentes à la tourbe. — Structure des tourbières; alternances de la tourbe avec des roches d'origine inorganique. — Accidents auxquels les tourbières sont sujettes. — Enfouissement des animaux. — Temps nécessaire à la formation de la tourbe. — Distribution topographique des tourbières. — Etendue des tourbières. — Leur distribution géographique et géologique; elles sont spéciales à l'ère jovienne. — Tourbières anté-historiques d'Utznach et de Durten.

CHAPITRE III. — HOUILLÈRES. 173

La houille s'est formée sur place, dans des eaux marécageuses ou dans des lacs peu profonds. — Végétation de la période houillère. — Fougères. — Equisétacées; calamites; astérophyllites; annularia. — Lycopodiacées; lepidodendrons; sigillaires; stigmaria. — Marais avec forêts de sigillaria; rôle des végétaux à racines stigmariées. — Rôle des calamites et des fougères. — Aspect d'un bassin houiller; alternances des bancs de combustible et des roches d'originé inorganique dans le sens vertical et dans le sens horizontal. — Périodes de la houille et de l'anthracite; circonstances qui ont favorisé la formation de ces combustibles. — Distribution géographique des bassins houillers. — Analogie entre les tourbières et les houillères.

CHAPITRE IV. — THÉORIE GÉNÉRALE, AU POINT DE VUE GÉOLOGIQUE, DE LA FORMATION DES COMBUSTIBLES ET DES ROCHES CARBONÉES. 197

Accumulation des débris de végétaux. — Formation des combustibles sur place et par voie de charriage. — Exemples pris dans le delta du Missisipi. — Forêts de Taxodium. — Lignite de la Bresse. — Circonstances favorables à la formation des combustibles ou susceptibles

d'exercer une influence sur leurs caractères minéralogiques; effets de l'eau, de la pression, de la température, de la végétation, du climat, de la composition de l'atmosphère et des mouvements du sol. — Origine des hydrocarbures. — Répartition géologique et géographique des combustibles fossiles et des roches carbonées. — Temps nécessaire à la formation d'un amas de combustible.

CHAPITRE V. — CLASSIFICATION ET CARACTÈRES MINÉRALOGIQUES DES ROCHES CARBONÉES 219

Classification générale des combustibles fossiles. — Groupes de la tourbe, du bois fossile, du lignite, de la houille et de l'anthracite. — Caractères généraux des combustibles fossiles. — Relations entre la nature des combustibles et leur ancienneté. — Propriétés physiques: densité, couleur, poussière, éclat, structure, texture. — Composition chimique. — Usages des combustibles fossiles pour le chauffage, l'éclairage, etc.: coke. — Groupes du graphite et du diamant. — Groupe des hydrocarbures gazeux. — Groupe des hydrocarbures solides et liquides; bitumes, naphte, pétrole, malthe et asphalte. — Roches bitumineuses.

LIVRE DOUZIÈME.

Révolutions géologiques; changements dans les flores et les faunes.

CHAPITRE I. — MODIFICATIONS DANS LE RELIEF DU SOL ET LES CLIMATS. 241

Des révolutions géologiques en général. — Changements dans le relief du sol et dans l'aspect topographique de chaque contrée. — Changements dans la température de l'atmosphère et les climats. — Changements dans les milieux où la vie se développe. — Terre végétale. — Air atmosphérique; constance de sa composition chimique. — Mers — Eaux douces; leur extension sans cesse croissante.

CHAPITRE II. — CAUSES DE L'APPARITION ET DE LA DISPARITION DES ESPÈCES 257

Considérations préliminaires. — Faunes et flores successives; première

idée des races perdues; Cuvier. — Recherche des causes qui ont déterminé l'apparition de chaque espèce. — Hypothèse d'une intervention des masses sidérales. — Hypothèse d'un centre de création unique et préexistant. — Hypothèse de la transmutation des espèces; solidarité existant entre cette hypothèse et la doctrine des générations spontanées. — Théories de Lamarck, des deux Geoffroy Saint Hilaire et de Darwin. — Causes qui ont amené la disparition des espèces causes accidentelles, causes essentielles. — Impossibilité de trouver la raison d'être des rénovations organiques. — L'espèce au point de vue géologique.

CHAPITRE III. — HISTOIRE GÉOLOGIQUE DES PRINCIPAUX GROUPES D'ANIMAUX ET DE VÉGÉTAUX 279

Epoques où les principaux groupes de végétaux et d'animaux ont apparu, où ils ont acquis leur maximum d'extension et où ils ont cessé d'exister. — Thallophytes et acrogènes; sigillaires; calamites; etc. — Gymnospermes; conifères, cycadées. — Angiospermes, gamopétales. — Monocotylédonées. — Rhizopodes, polypiers, échinodermes, bryozoaires, nummulites, graptolites. — Gastéropodes, lamellibranches. — Brachiopodes, céphalopodes; rudistes; ammonites, bélemnites. — Annélides, crustacés, insectes, etc.; trilobites. — Vertébrés. — Poissons; placoïdes, ganoïdes, téléostéens; poissons hétérocerques et homocerques. — Reptiles; batraciens, ophidiens, sauriens, ichthyosauriens, labyrinthodontes, ptérodactyles, etc. — Oiseaux. — Mammifères et leurs principaux ordres.

CHAPITRE IV. — TRANSFORMATIONS SUCCESSIVES DE LA FAUNE ET DE LA FLORE. 299

Période azoïque; absence probable d'êtres organisés pendant cette période. — Première apparition des plantes et des animaux; faune primordiale. — Période paléozoïque; règnes des acrogènes et des poissons. — Faune et flore des époques trilobitique et houillère. — Période mésozoïque; règnes des gymnospermes et des reptiles. — Faune et flore des époques triasique, jurassique et crétacée. — Période néozoïque; règnes des angiospermes et des mammifères. — Faune et flore des époques nummulitique et proboscidienne. — Période homozoïque; règne de l'homme.

CHAPITRE V. — L'HOMME FOSSILE 329

Causes qui avaient discrédité la question de l'homme fossile.— Recherches de M. Boucher de Perthes. — Indices et documents sur lesquels l'existence de l'homme dit antédiluvien doit être établie : ossements humains, débris de l'industrie humaine. — Gisements des anthropolites. — Division de l'ère jovienne en plusieurs époques. — L'homme fossile de Denise. — L'homme pendant la période interglaciaire; premier âge de la pierre; station funéraire d'Aurignac; silex d'Amiens et d'Abbeville; mâchoire de Moulin Quignon. — Ossements dans les brèches osseuses, les cavernes, etc.; caverne de Lourdes. — L'homme pendant la période postglaciaire; temps antéhistoriques; deuxième âge de la pierre, âge du bronze, âge du fer. — Habitations lacustres de la Suisse; kjökkenmoddings du Danemark. — Temps historiques.

CHAPITRE VI. — PRINCIPALES LOIS QUI ONT PRÉSIDÉ AUX RÉNOVATIONS ORGANIQUES. 359

Changements successivement apportés dans les faunes et les flores. — Evolution tetripétale. — Dépendance mutuelle des organismes; influence des milieux. — Passage insensible entre les faunes. — Intermittence apparente dans la vie des espèces. — Théorie des colonies de M. Barrande. — Loi de la spécialité des fossiles; exceptions apparentes observées dans les Alpes et la Bohême. — Accroissemen dans la variété des formes organiques. — Continuité des types; espèces prophétiques. — Théorie du développement progressif. — Tendance vers les types actuels. — Variations dans la quantité de vie à la surface du globe.

LIVRE TREIZIÈME.

Géologie systématique.

CHAPITRE I. — DÉTERMINATION DES TERRAINS. — NOMENCLATURE GÉOLOGIQUE. 385

Les terrains au point de vue de la géologie systématique. — Objet de la géologie systématique. — Comment on détermine l'ordre de superpo-

sition des terrains, et comment on les caractérise. — W. Smith, Alex. Brongniart, etc. — Les terrains sont caractérisés par leurs fossiles. — Difficultés que l'on rencontre dans l'application de ce principe. — Emploi de la méthode pétrologique. — Détermination de l'âge des roches éruptives. — Nomenclature et terminologie géologiques.

CHAPITRE II. — Groupement des étages en systèmes, séries, etc. — diverses méthodes de classification. . . . 404

Division de l'écorce terrestre en étages. — Définition de l'étage ; comment on évalue son importance. — Groupement des étages en systèmes, séries, etc. — Principes dont l'application doit guider dans le tracé des lignes qui partagent l'écorce terrestre en formations distinctes. — Difficultés que présente l'application de ce principe. — Diverses méthodes de classification. — Méthodes dynamique, géogénique, pétrographique, stratigraphique, orogénique et paléontologique.

CHAPITRE III. — Classifications générales des terrains. 427

Classifications anciennes : Sténon, Arduino, etc. — Classification wernerienne ; Lehman, Werner, Fuchsel. — Classifications postérieures à celle de Werner : Alex. Brongniart, Omalius d'Halloy, Cordier, Labèche, Huot. — Dufrénoy et Elie de Beaumont. — Classifications récentes ; d'Orbigny, Lyell, d'Archiac ; — Cartes géologiques de la France et de l'Angleterre.

CHAPITRE IV. — classification générale des terrains proposée par l'auteur. 445

Temps cosmogoniques, plutoniques et géologiques. — Division des temps géologiques en trois grandes ères : ères neptunienne, tellurienne et jovienne. — Division en cinq grandes périodes : périodes azoïque, paléozoïque, mésozoïque, néozoïque et homozoïque. — Division en neuf séries : séries azoïque, trilobitique, psammitique, triasique, jurassique, crétacée, nummulitique, proboscidienne et glaciaire. — Caractères généraux des terrains correspondant à ces divers groupes. — Division de l'échelle géologique en systèmes.

CLASSIFICATION ET DESCRIPTION DES TERRAINS.

SÉRIE AZOÏQUE 459
SYSTÈME STRATO-CRISTALLIN 459
SÉRIE TRILOBITIQUE. 466
SYSTÈME CUMBRIEN. 468
SYSTÈME SILURIEN 475
SYSTÈME DÉVONIEN. 486
SYSTÈME CARBONIFÈRE. 500
SÉRIE PSAMMITIQUE. 516
SYSTÈME HOUILLER 519
SYSTÈME PERMIEN. 535
SÉRIE TRIASIQUE 551
SYSTÈME TRIASIQUE. 551
SÉRIE JURASSIQUE. 575
SYSTÈME INFRALIASIQUE 587
SYSTÈME LIASIQUE 597
SYSTÈME OOLITIQUE INFÉRIEUR 607
SYSTÈME OOLITIQUE MOYEN 619
SYSTÈME OOLITIQUE SUPÉRIEUR 629
SÉRIE CRÉTACÉE 639
SYSTÈME CRÉTACÉ INFÉRIEUR. 642
SYSTÈME CRÉTACÉ MOYEN. 652
SYSTÈME CRÉTACÉ SUPÉRIEUR. 660
SÉRIE NUMMULITIQUE. 674
SYSTÈME SUESSONIEN 679
SYSTÈME PARISIEN 688
SÉRIE PROBOSCIDIENNE. 696
SYSTÈME MIOCÈNE 697
SYSTÈME PLIOCÈNE 709

ERRATA.

PREMIER VOLUME.

Page 140, ligne 20, au lieu de : *augmentant*, lisez : *diminuant*.

Page 224, dans les accolades de la droite du tableau, au lieu de : *vieux grès rouge*, lisez : *nouveau grès rouge* (1).

Page 338, ligne 13, au lieu de : *anticlinale*, lisez : *synclinale*.

Page 430, ligne 20, au lieu de : *de* 200 *mètres*, lisez : *indéterminée*.

Page 438, figure 20, au lieu de : *ligne actuelle des glaciers*, lisez : *limite ancienne des neiges perpétuelles*, et réciproquement.

Page 550, ligne 1 de la note, au lieu de : 668, lisez : 584.

DEUXIÈME VOLUME.

Page 246, ligne 1 de la note, au lieu de 177, lisez : 192.

Page 322, ligne 3, au lieu de : 52, lisez : 51.

Page 406, Dans la figure 58, les fissures, au lieu d'être représentées par des lignes bleues, sont indiquées par des lignes ponctuées.

Page 469, ligne 1 d'en bas, au lieu de : *ils*, lisez : *elles*.

Page 526. Le système des Pyrénées a été, par erreur, inscrit dans le tableau comme étant antérieur au terrain nummulitique méditerranéen; il lui est postérieur.

TROISIÈME VOLUME.

Page 6, ligne 25, au lieu de : 643, lisez : 644.

Page 21, ligne 15, au lieu de : *malaehite*, lisez : *malachite*.

Page 84, ligne 6, au lieu de : *vertical*, lisez : *horizontal*.

Page 433, au 6e groupe, au lieu de : *grès vert*, lisez : *grès rouge*.

(1) Pendant l'impression du *Prodrome de Géologie*, les idées de l'auteur sur le classement de certains terrains se sont modifiées; le tableau de la page 224, tome I, devrait subir quelques corrections qu'il est inutile de mentionner et qui seront mises en évidence par la comparaison de ce tableau avec ce qui a été dit dans la partie de cet ouvrage consacrée à la géologie systématique.

BESANÇON. — IMPRIMERIE DE J. ROBLOT.

